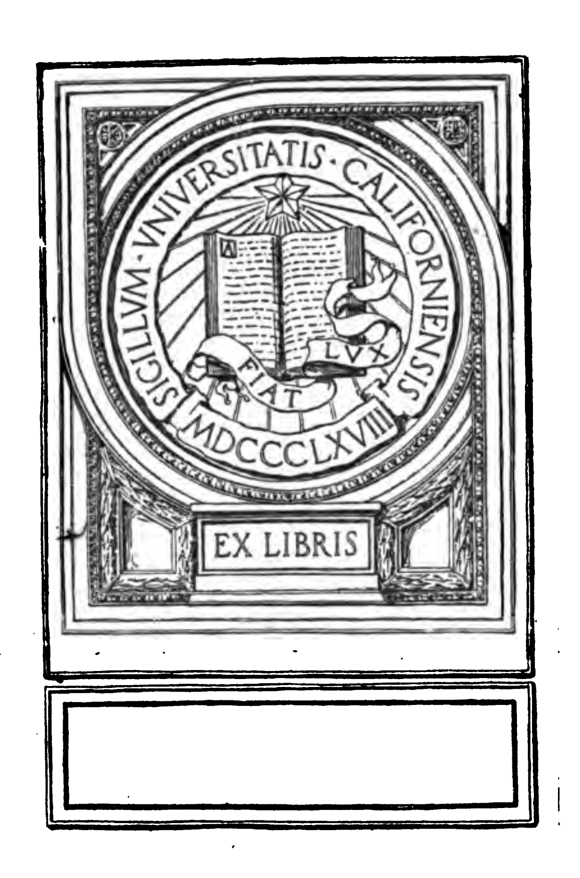
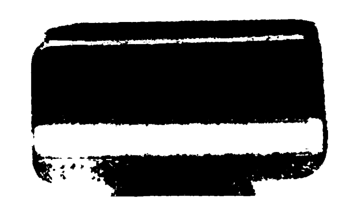
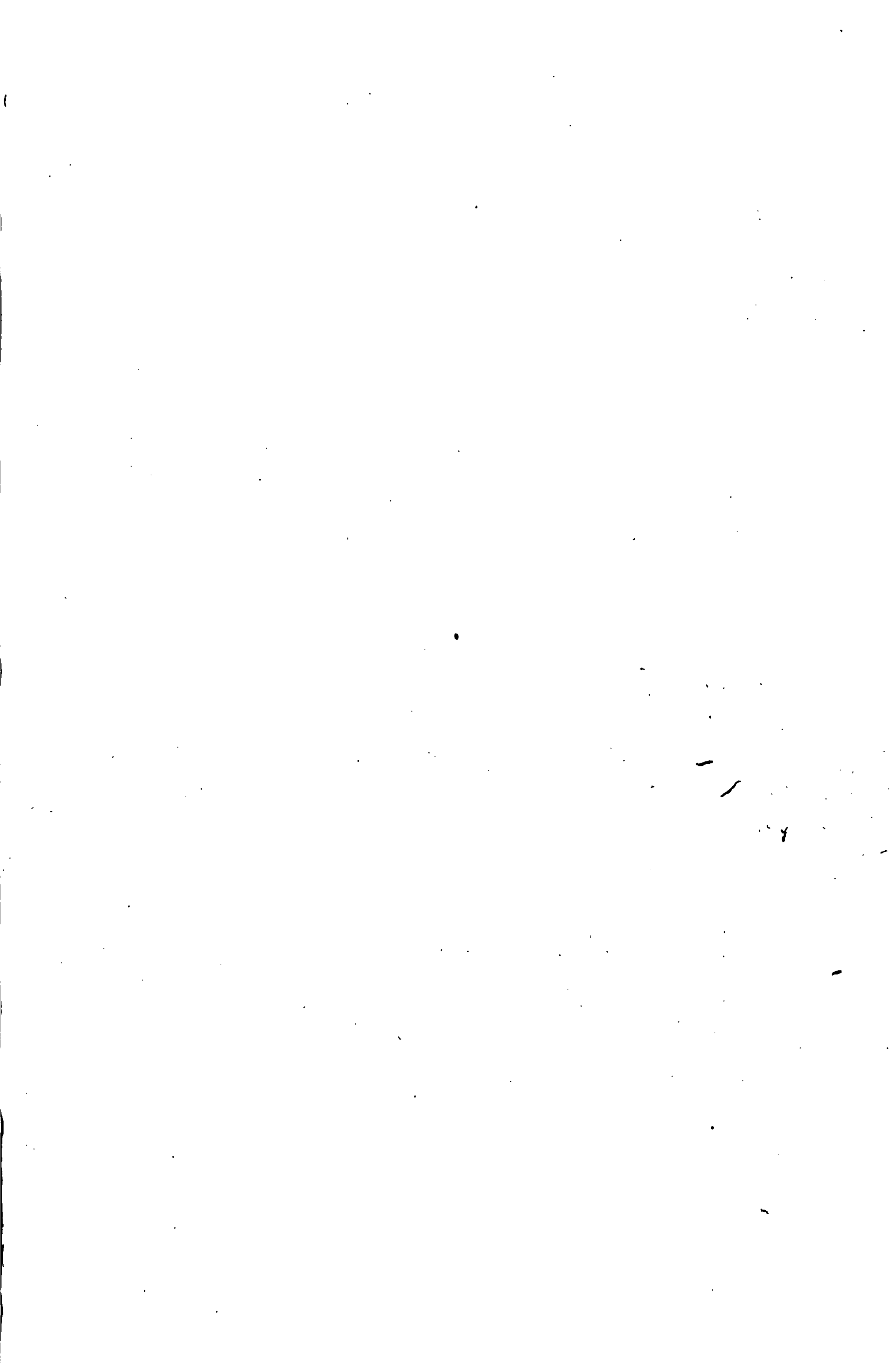
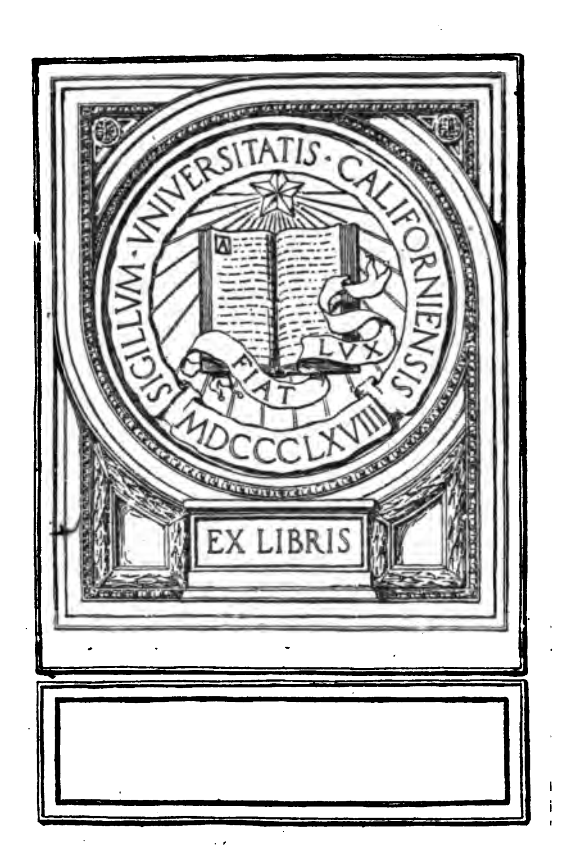
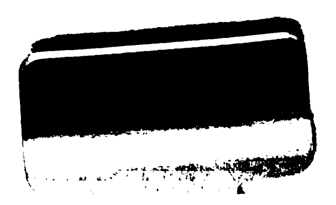


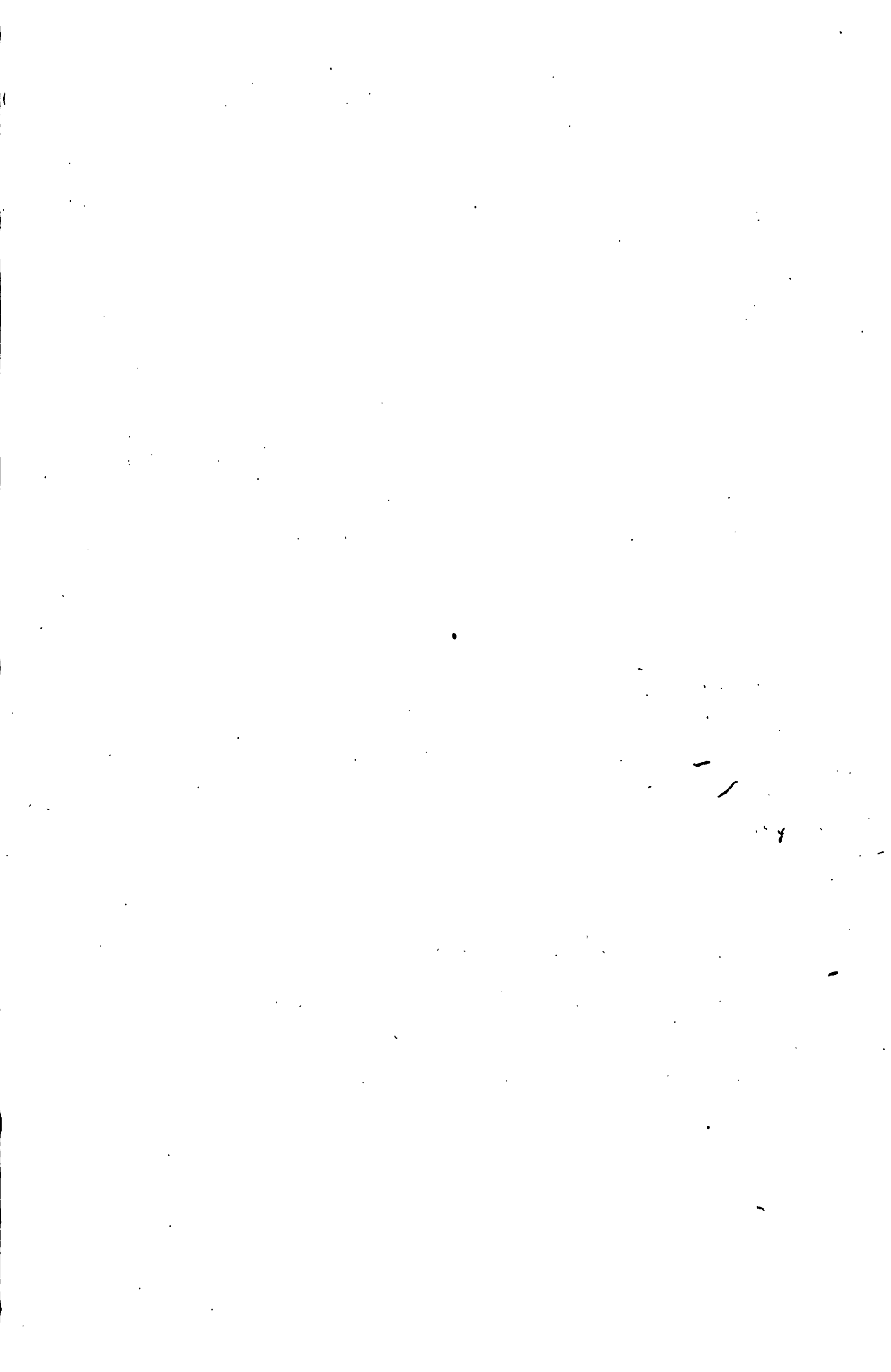

SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT
LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS

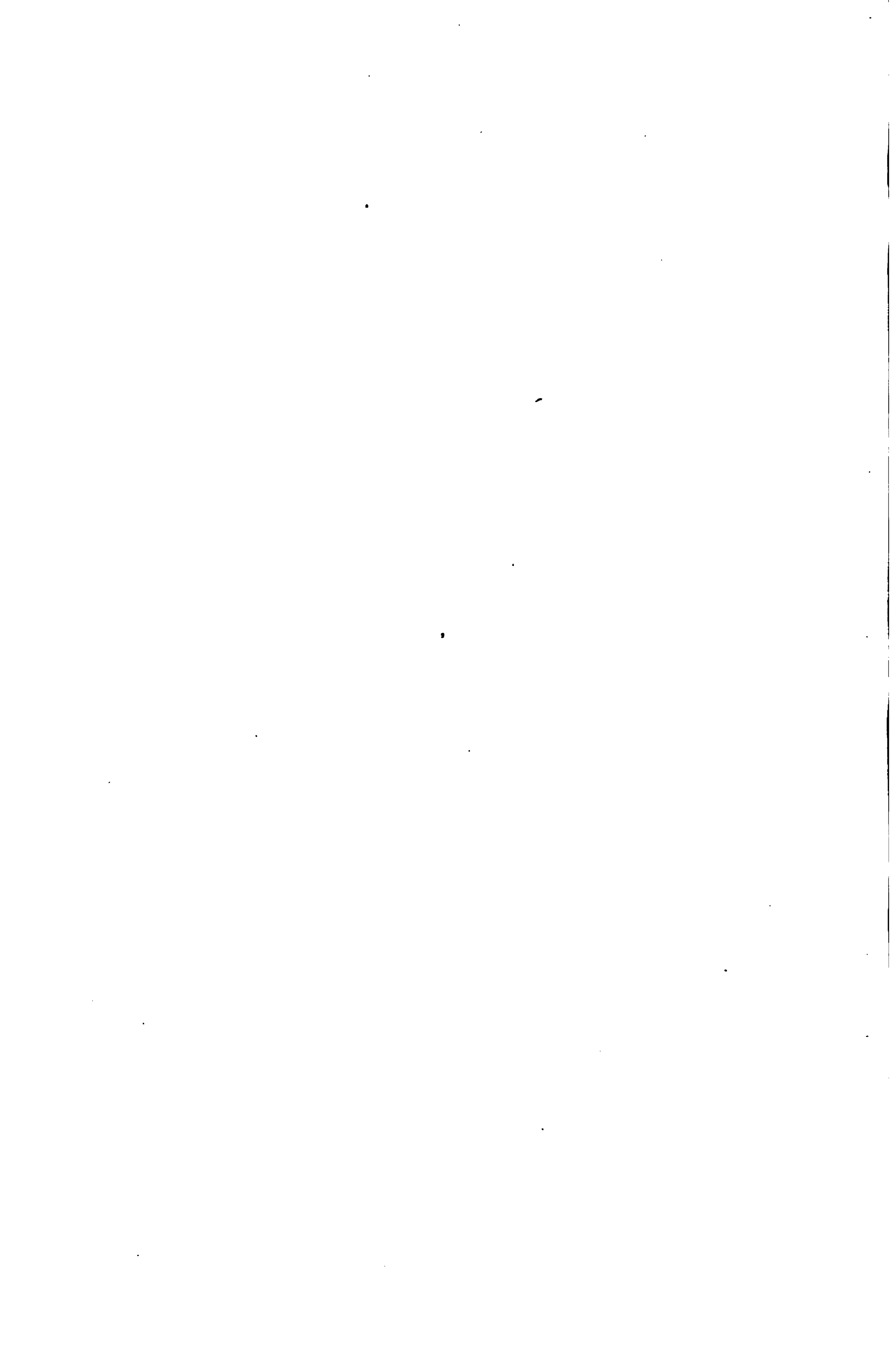





SIGILLVM · VNIVERSITATIS · CALIFORNIENSIS
FIAT LVX
MDCCCLXVIII
EX LIBRIS







THEORIE
DER
KINEMATOGRAPHISCHEN PROJEKTIONEN

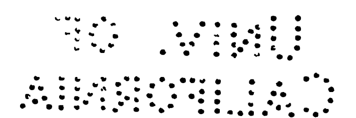
VON

DR. KARL MARBE
O. Ö. PROFESSOR UND VORSTAND DES PSYCHOLOGISCHEN INSTITUTS DER UNIVERSITÄT WÜRZBURG

MIT ZAHLREICHEN FIGUREN IM TEXT



LEIPZIG
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH
1910



Druck von Metzger & Wittig in Leipzig

Vorwort.

Dieses Büchlein ist aus der Überzeugung hervorgegangen, daß eine möglichst enge Fühlung zwischen Technik und Wissenschaft im Interesse beider Gebiete gelegen ist. Nachdem sich seit langer Zeit die wissenschaftliche Theorie und Praxis im Gebiete der Mathematik, Medizin und der Naturwissenschaft gegenseitig gefördert haben, macht diese Schrift heute in einer Blütezeit der Technik den Versuch, die Psychologie und die Technik in der Lehre von den kinematographischen Projektionen in Zusammenhang zu bringen.

Neben vielen anderen bin ich seit sechzehn Jahren in denjenigen Teilen der psychologischen Optik wissenschaftlich tätig gewesen, welche die theoretischen Grundlagen für die biographischen Projektionen bilden. Da fast jede Berührung zwischen den einschlägigen neueren Arbeiten und der Technik fehlt, habe ich es für im Interesse der Sache gelegen erachtet, mit dieser Schrift hervorzutreten. Sie wendet sich an alle diejenigen, denen die Technik des Kinematographen am Herzen liegt und die bei ihren Bemühungen mit der Wissenschaft Fühlung behalten wollen. Sie versucht zugleich, auch denjenigen Gelehrten einige Dienste zu leisten, welche meine in Einzelarbeiten verstreuten Ansichten über dieses Gebiet im Zusammenhang kennen lernen wollen.

Ich habe mich bemüht, die Darstellung möglichst klar und übersichtlich zu halten. Es ist mir aber freilich nicht

gelungen, den Text so zu gestalten, daß man aus der Schrift Nutzen ziehen kann, ohne sie wenigstens in einzelnen Teilen wirklich zu studieren. Daß ich vorwiegend von eigenen Arbeiten ausgehe, polemische Auseinandersetzungen vermeide und eben meine Ansichten darlege, wird man begreiflich finden. Doch gelangt man von den zitierten Schriften aus zu allen wichtigeren einschlägigen Spezialarbeiten.

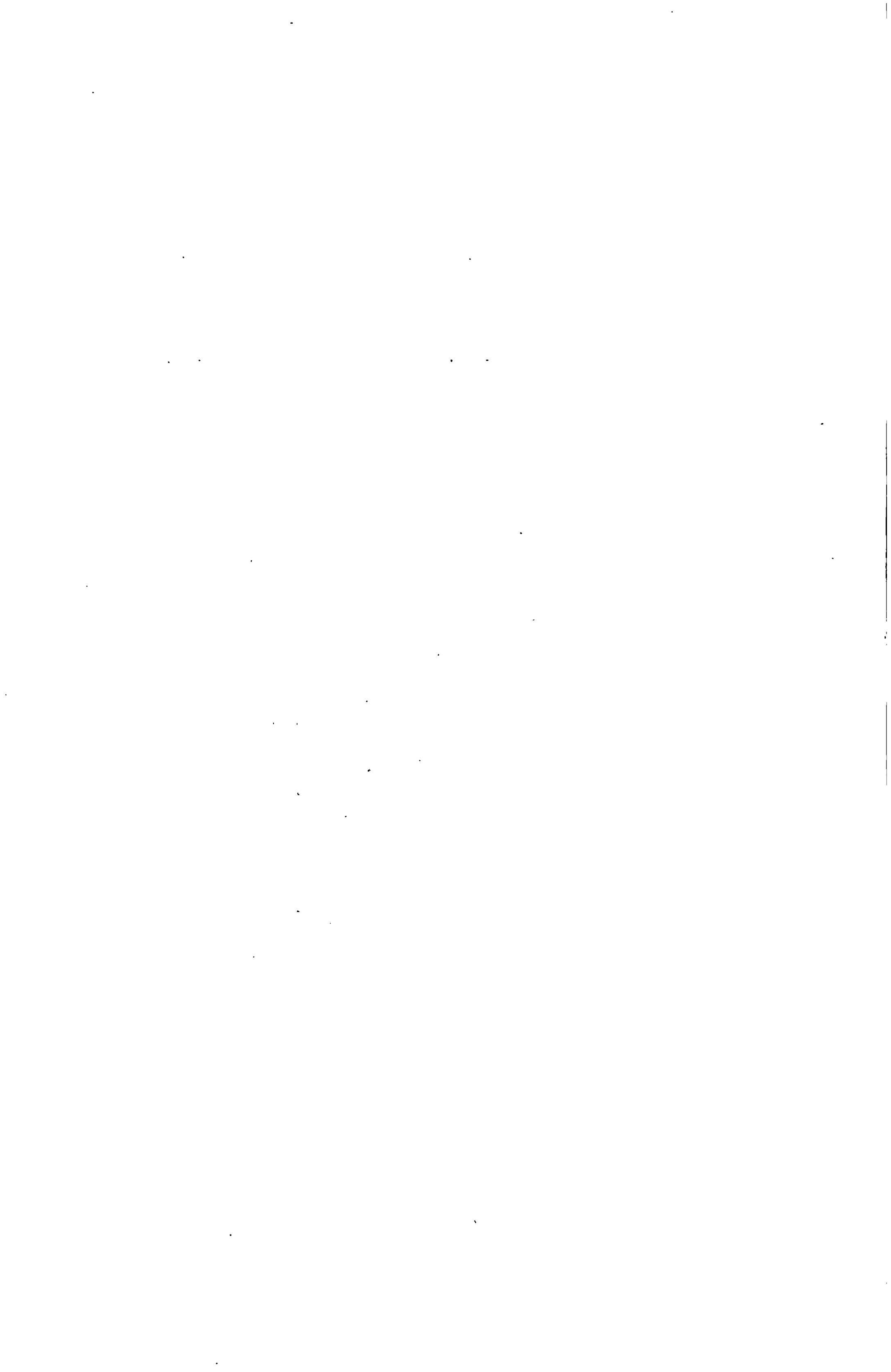
Diejenigen, welche nur die in Betracht kommenden wissenschaftlichen Tatsachen und ihre Bedeutung für den Kinematographen kennen lernen wollen, können von der Lektüre der §§ 8 und 9 absehen. Für Psychologen ist der § 2, der in populärer Weise über Reize, Wahrnehmungen und Empfindungen handelt, ohne jedes Interesse. Hingegen enthält die Schrift einige neue, bisher nicht veröffentlichte Versuchsanordnungen und Experimente, sowie Zusätze zu meinen früher dargestellten Theorien.

Die Abfassung der Schrift stammt aus der Zeit, wo ich ausschließlich oder teilweise (neben meiner Würzburger Tätigkeit) in Frankfurt wirkte. Die neuen Versuche wurden in dem bis 1. April 1910 unter meiner Leitung stehenden Psychologischen Institut der Frankfurter Akademie angestellt. Bei deren Ausführung wurde ich durch meine Assistenten Herrn Dr. Seddig und Herrn Dr. Peters und durch meinen bewährten Institutsmechaniker Herrn Fr. David Joos sehr unterstützt. Den Herren Dr. Seddig und Dr. Peters bin ich auch für mancherlei Ratschläge bei der Redaktion und Drucklegung der Schrift zu großem Dank verpflichtet.

Frankfurt am Main, Ende Januar 1910.

Karl Marbe.

Inhalt.



§ 1. Aufgabe dieser Schrift.

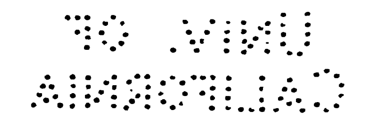
Bei den kinematographischen oder biographischen Projektionen werden bekanntlich dem Auge sukzessive eine große Anzahl von Bildern dargeboten, welche verschiedene Phasen irgend eines Vorganges darstellen. Sie sollen in uns den subjektiven Eindruck einer kontinuierlichen ohne störende Unterbrechungen verlaufenden Szene darstellen.

Die Bilder, die heutigen Tages allgemein beim Kinematographen verwandt werden, sind Momentphotographien, die mittels des Kinematographen selbst auf einen Filmstreifen aufgenommen werden. Das Prinzip des Kinematographen ist jedoch viel älter als die Anwendung der Photographie zu kinematographischen Zwecken. Während DAGUERRE erst im Jahre 1837 definitiv das Problem löste, mit Hilfe des Lichts auf eine einfache Weise dauerhafte Bilder herzustellen, wurde das Verfahren, scheinbare Bewegungen von Objekten mit Hilfe sukzessive gebotener Bilder zu erzeugen, schon mehrere Jahre vorher von PLATEAU[1]) und STAMPFER[2]) erfunden. Es ist nicht unsere Aufgabe, in dieser Schrift über die allmähliche Ent-

---

[1]) Sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière, Liége 1829, zitiert nach EDER, Geschichte der Photographie, 3. Aufl. Halle a. S. 1905, S. 304. Correspondence mathématique et physique de l'observatoire de Bruxelles T. VII. S. 365. Vgl. auch POGGENDORFF in POGGENDORFFS Annalen Bd. 32, der ganzen Folge hundertundachter, S. 647.

[2]) Die stroboskopischen Scheiben oder optischen Zauberscheiben, deren Theorie und wissenschaftliche Anwendung, Wien 1833. Abgedruckt im 18. Bd. der Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien, 1834.



wickelung der Kinematographie zu handeln. Auch wollen wir hier nicht die vielen Systeme kinematographischer Vorrichtungen darstellen, welche beschrieben und ausgeführt wurden. All dies wäre die Aufgabe einer Geschichte [1]) und einer Technik [2]) des Kinematographen oder Biographen. Unsere Theorie soll vielmehr die grundlegenden wissenschaftlichen Tatsachen darstellen und erklären, auf denen die kinematographischen Projektionen beruhen. Unsere Schrift will dadurch die bisherigen und künftigen technischen Konstruktionen wissenschaftlich fundieren.

---

[1]) Vgl. Eder, Geschichte der Photographie, 3. Aufl. S. 304 ff. 1905.

[2]) Vgl. Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie, Leipzig 1908.

§ 2. Reize, Wahrnehmungen, Empfindungen.

Als Reize bezeichnet man in der Psychologie diejenigen Vorgänge und Zustände der Körperwelt, die auf unser Bewußtsein einen Einfluß auszuüben imstande sind. Die Schwingungen, die eine Stimmgabel ausführt oder der Druck, den ein Gewicht auf unsere Hand ausübt, sind daher Reize; denn sowohl die Schwingungen als das Gewicht rufen Wahrnehmungen in uns hervor und üben daher einen Einfluß auf unser Bewußtsein aus. Diejenigen Reize, die in uns vermittelst des Auges Wahrnehmungen auslösen, heißen optische Reize, Lichtreize oder Gesichtsreize. Das Licht, welches etwa in unser Auge fällt, wenn wir eine Lampe oder ein beleuchtetes Stück Papier betrachten, gehört zu den optischen Reizen.

Man kann nun zwischen der Stärke oder Intensität und der Art oder Qualität der optischen Reize unterscheiden. Wenn wir einen optischen Reiz, z. B. eine weiße Fläche, die mittels weißen Lichts beleuchtet wird, immer mehr und mehr verdunkeln, indem wir z. B. Rauchgläser zwischen Lichtquelle und Fläche einschieben, so ändern wir die Intensität des Reizes. Dieselbe wird gleich 0, wenn wir statt der Rauchgläser ein undurchsichtiges Medium, etwa ein Stück Blech, einsetzen. Die Intensität der optischen Reize kann bekanntlich mit Hilfe photometrischer Methoden bestimmt werden. Wir stellen dabei die Intensität eines Reizes dadurch fest, daß wir die Stärke des Lichts, das er in unser Auge sendet,

ausdrücken als ein Vielfaches der Lichtintensität, die ein anderer als Maßeinheit dienender Reiz ausstrahlt. Alle photometrischen Intensitätsbestimmungen sind demnach relative: sie beziehen sich auf einen sogenannten Normalreiz, der willkürlich gewählt ist.

Statt durch weißes Licht kann man das Auge auch durch rotes, grünes, gelbes Licht usw. reizen, ohne daß deshalb die Intensität der Reize modifiziert werden muß. Reize, die in weißem oder rotem oder grünem Licht usw. bestehen, unterscheiden sich durch die Art oder Qualität. Die physikalische Theorie betrachtet die Intensitätsverschiedenheit der optischen Reize als Verschiedenheit der Amplitude, und sie betrachtet die qualitative Verschiedenheit der Reize als Verschiedenheit der Anzahl der Lichtschwingungen in der Sekunde.

Abgesehen von der Intensität und Qualität unterscheiden sich die optischen Reize auch durch die Dauer. Ein Reiz, der eine Sekunde lang auf unser Auge einwirkt, hat eine halb so große Dauer als ein Reiz, der zwei Sekunden lang wirkt.

Die Lichtreize unterscheiden sich viertens durch die Ausdehnung. Ein Reiz, der von einer erleuchteten Fläche von 1 qcm ausgeht, ist ausgedehnter als ein Reiz, der in einer kleineren Fläche besteht.

Intensität, Qualität, Dauer und Ausdehnung sind notwendige Merkmale der optischen Reize, d. h. es gibt keinen optischen Reiz, der nicht irgend welche Intensität, Qualität, Dauer oder Ausdehnung hat. Die Merkmale der optischen Reize können allerdings gleich 0 werden, wie wir ja auch schon im obigen Beispiel von dem Fall sprachen, daß die Intensität gleich 0 wird. Doch sind solche Fälle insofern Grenzfälle, als wir überall, wo die Intensität (Amplitude), Dauer, Qualität (Schwingungszahl) oder Ausdehnung gleich 0

wird, auch sagen können, daß ein Reiz überhaupt nicht vorhanden sei.

Die Bewußtseinsvorgänge, welche durch die Reize in uns hervorgerufen werden, bezeichnen die Psychologen als Sinneswahrnehmungen oder auch einfach als Wahrnehmungen. Die Worte, die wir hören, wenn jemand spricht, sind z. B. solche Wahrnehmungen. Sinnesempfindungen oder auch kurzweg Empfindungen nennen wir die einfachen Wahrnehmungen, welche einer weiteren psychologischen Analyse nicht mehr zugänglich sind. Die Wahrnehmung eines einfachen, psychologisch nicht mehr analysierbaren Tones ist (im Gegensatz z. B. zur Wahrnehmung eines Akkordes) eine Empfindung. Die durch optische Reize vermittelten Wahrnehmungen heißen Licht-, Gesichts- oder optische Wahrnehmungen. Die entsprechenden Empfindungen heißen Licht-, Gesichts- oder optische Empfindungen. Die Wahrnehmung einer aus einem weißen und einem schwarzen Sektor bestehenden Scheibe (vgl. Fig. 1, S. 18) ist eine optische Wahrnehmung, die aus zwei optischen Empfindungen, die durch den weißen und den schwarzen Sektor hervorgerufen werden, besteht. Da die Empfindungen nach unserer Terminologie einfache Wahrnehmungen sind, werden wir in dieser Schrift unter Wahrnehmungen auch vielfach Empfindungen verstehen.

Wie die Gesichtsreize so haben nun auch die optischen Wahrnehmungen und Empfindungen die Merkmale der Intensität, Qualität, Dauer und Ausdehnung.

Eine Gesichtswahrnehmung kann ebenso intensiv, weniger intensiv oder intensiver sein als eine andere. Wenn wir zwei gleiche Gesichtsreize, z. B. zwei weiße Flächen gleich hell beleuchten, so entstehen in uns zwei gleich helle oder gleich intensive Gesichtswahrnehmungen. Wenn wir der Reihe nach zwei homogene graue Papiere, von denen das eine zehnmal so viel Licht reflektiert als das andere, auf uns wirken

lassen, so entstehen in uns zwei Gesichtsempfindungen von verschiedener Intensität.[1])

Betrachten wir drei einfache Flächen, von denen die eine mit einem roten, die andere mit einem grünen, die dritte mit einem grauen Pigment gleichmäßig bemalt ist, so haben wir drei Empfindungen von verschiedener Qualität, die übrigens gleich oder verschieden hell sein können und daher gleiche oder verschiedene Intensität aufweisen können. Man unterscheidet zwei Arten von Gesichtsempfindungen, nämlich die Grauempfindungen oder die neutralen Farben einerseits und die farbigen Empfindungen oder die eigentlichen Farben andererseits. Zu jenen gehören die weißen, schwarzen und die dazwischen liegenden grauen Töne. Zu den farbigen Empfindungen gehören rot, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett und purpur. Die farblosen Töne haben alle ein und dieselbe Qualität; sie unterscheiden sich nur durch die Intensität. Die farbigen Empfindungen können auch hinsichtlich der Qualität voneinander verschieden sein. Ein rotes und ein grünes Pigment erzeugen in uns z. B. Empfindungen von zweierlei Qualität. Reize, welchen farblose Empfindungen entsprechen, können wir kurz als farblose, Reize, die farbige Empfindungen erzeugen, als farbige Reize bezeichnen. Die Qualität der eigentlichen Farben ist nun wieder in doppelter Richtung, nämlich hinsichtlich des Farbentons und hinsichtlich der Sättigung verschieden. Da alle Farbentöne, die wir überhaupt kennen, entweder im Sonnenspektrum vorkommen oder durch Mischung spektraler Töne gewonnen werden können, so lassen sich alle Töne durch Beziehung auf das Sonnenspektrum eindeutig bestimmen. Zwei Farbentöne,

[1]) Die Ansicht einzelner Psychologen, daß die Intensitätsunterschiede der optischen Wahrnehmungen genau genommen als qualitative zu betrachten seien, übergehe ich hier absichtlich im Interesse der Einfachheit der Darstellung.

welche gleich hell sind und denselben Farbenton haben, können sich trotzdem hinsichtlich der Sättigung voneinander unterscheiden. So können z. B. zwei gleich helle grüne Flächen, die genau denselben (grünen) Ton haben, doch verschiedene Sättigung aufweisen, wobei dann dasjenige Grün am wenigsten gesättigt ist, welches dem Grau von der gleichen Helligkeit am nächsten steht. Überhaupt ist eine Farbe um so ungesättigter, je näher sie einer Grauempfindung von derselben Intensität steht. Jede Grauempfindung kann daher als irgend eine Farbenempfindung vom Sättigungsgrad 0 angesehen werden.

Daß auch die optischen Wahrnehmungen und Empfindungen eine gewisse Zeit dauern müssen und mehr oder weniger ausgedehnt sein können, liegt auf der Hand. Wir dürfen also auch den optischen Wahrnehmungen und Empfindungen die Merkmale der Intensität, Qualität, Dauer und Ausdehnung beilegen. Diese Merkmale sind auch als optische Wahrnehmungs- und Empfindungsmerkmale notwendige Merkmale. Denn eine optische Wahrnehmung oder Empfindung, der eines dieser Merkmale fehlt, kann überhaupt nicht bestehen. Allerdings gibt es Wahrnehmungen und Empfindungen anderer Sinnesgebiete, denen das Merkmal der Ausdehnung fehlt.

Die Intensität der optischen Wahrnehmungen und Empfindungen ist wesentlich von der Intensität der Reize abhängig. Doch gehen Reiz- und Wahrnehmungs- bzw. Empfindungsintensität einander keineswegs vollkommen parallel. Wenn wir z. B. die Intensität eines optischen Reizes, etwa einer kleinen Fläche von 0 an stetig wachsen lassen, so bleibt die Intensität der entsprechenden Empfindung auch dann noch gleich 0, wenn der Reiz den Wert 0 um weniges, aber keineswegs nur um einen unendlich kleinen Betrag, überschritten hat. Erst wenn der Reiz einen gewissen die

Größe 0 überragenden Wert angenommen hat, wird er überhaupt bemerkt. Und auch Qualität, Dauer und Ausdehnung der Reize verlaufen nur ganz im allgemeinen den entsprechenden Merkmalen der Empfindungen und Wahrnehmungen parallel. Ja die Qualität der optischen Empfindungen ist keineswegs nur von der Qualität der Reize, sondern auch von deren Intensität abhängig. Wenn wir beispielsweise im Dunkelzimmer eine farbige Fläche sukzessive immer schwächer und schwächer beleuchten, so erscheint sie, lange bevor sie unsichtbar wird, zunächst farblos. Die Empfindung ändert also hier ihre Qualität unter dem Einfluß der Variation der Intensität des Reizes.

Eine Aufgabe der Psychologie ist es, die Beziehungen zwischen den Merkmalen der Reize und denen der Empfindungen bzw. Wahrnehmungen exakt zu bestimmen, ein Problem, das indessen zunächst nicht näher in Frage kommt. Das Problem, ob es neben den genannten noch weitere Merkmale der Gesichtsempfindungen gibt, das auf schwierige psychologische und philosophische Fragen führt, brauchen wir in diesem Büchlein überhaupt nicht zu erörtern.

---

§ 3. Elementarreize.

Gegeben sei irgend ein optischer Reiz *R*, etwa eine weiße Fläche, die eine bestimmte Zeit lang auf unser Auge wirken soll. Wir können dann den Reiz *R* zusammengesetzt denken aus einer ganzen Reihe zeitlich unmittelbar aufeinander folgender Reize von unter sich gleicher Dauer. Wenn beispielsweise der Reiz *R* eine Sekunde lang währt, so können wir ihn als aus 10 Reizen bestehend auffassen, die je $^1/_{10}$ Sekunde wirken oder aus 100 Reizen, die je $^1/_{100}$ Sekunde dauern, usw. Die Reize, welche in der geschilderten Weise den Reiz *R* zusammensetzen, werden daher um so kürzer, je größer ihre Anzahl ist, sie werden aber andererseits immer eine ganz bestimmte, für alle Teilreize gleiche Dauer haben, die, wie groß wir die Anzahl der Teilreize auch wählen, niemals den Wert 0 ganz erreicht. Solche kurze, unter sich gleich lang dauernde Reize, aus denen wir einen Reiz bestehend denken können, wollen wir als Elementarreize bezeichnen.

Wenn wir nun z. B. einen Reiz von 10,43 Sekunden Dauer in Elementarreize à 1 Sekunde einteilen und die Bruchteile vernachlässigen, so machen wir dabei offenbar einen Fehler von 0,43 Sekunden. Wenn wir den Reiz in Elementarreize von $^1/_{10}$ Sekunde Dauer einteilen, so machen wir durch Vernachlässigung der Bruchteile nur einen Fehler von 0,03 Sekunden. Lassen wir also alle Reize aus einer ganzen Zahl von Elementarreizen bestehen, so machen wir dabei

offenbar vielfach Fehler, die um so kleiner werden, je kürzer wir die Dauer eines Elementarreizes ansetzen.

Wir wollen nun die Dauer eines Elementarreizes so kurz bemessen, daß wir alle für uns in Frage stehenden Reize ohne in Betracht kommenden Fehler als aus einer ganzen Zahl von Elementarreizen bestehend ansehen dürfen. Um für unsere theoretischen Darlegungen indessen eine konkrete Vorstellung zugrunde zu legen, wollen wir mit Elementarreizen von einer Tausendstelsekunde (1σ) rechnen und nur solche Reize zum Gegenstand unserer Betrachtung machen, die sich ohne Rest in Elementarreize von der Dauer 1σ zerlegen lassen. Die allgemeine Gültigkeit unserer Ausführungen kann dadurch keinen Schaden leiden, da sich alle unsere Darlegungen auch auf beliebig lange oder kurze Reize beziehen ließen, die aus einer beliebig großen Anzahl beliebig kleiner Elementarreize zusammengesetzt betrachtet werden könnten.

Wir nehmen nun an, daß zunächst ein optischer Reiz R von der Dauer 10σ und von der Intensität a gegeben sei. Er besteht dann aus 10 aufeinander folgenden Elementarreizen von der Intensität a. Es folge nun unmittelbar auf den Reiz R der Reiz R_1 mit einer Dauer von einer halben Hundertstelsekunde und der Intensität b, dann folge wieder der Reiz R. Die während der drei Reize aufeinander folgenden Elementarreize sind dann folgende:

a a a a a a a a a a b b b b b a a a a a a a a a a.

So können wir beliebig große aufeinander folgende Serien von optischen Reizen in ihre Elementarreize zerlegen und sie nach diesem Schema anschreiben, wobei wir allgemein unter einem Elementarreiz X einen Elementarreiz von der Intensität X verstehen. Wechselt ein Reiz von der Intensität 0 und ein solcher von der Intensität b immerfort sukzessive und

periodisch und dauert jeder 5 σ lang, so können wir demnach die Reize folgendermaßen darstellen:

0 0 0 0 0 b b b b b 0 0 0 0 0 b b b b b usw. usw.

Wir müssen uns bei dieser Darstellung der Reize allerdings klar machen, daß sie nur Auskunft über Dauer und Intensität oder Größe, nicht aber über Qualität und Ausdehnung der Reize gibt. Doch kommt dieser Mangel für unsere theoretischen Darlegungen nicht in Betracht. Für den Ausdruck Intensität der Elementarreize werden wir auch den Ausdruck Größe der Elementarreize verwenden.

---

§ 4. Über die Verschmelzung von Reizen.

Gegeben sei eine kreisrunde Scheibe, die aus einem weißen und einem gleich großen, schwarzen Sektor bestehen soll (Fig. 1). Wenn wir diese Scheibe betrachten, so haben wir eine optische Wahrnehmung, die aus zwei Empfindungen besteht, nämlich aus den beiden Empfindungen der einzelnen Sektoren.

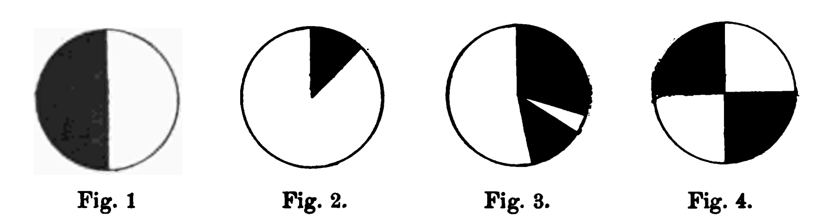


Fig. 1 Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.

Läßt man nun diese Scheibe ganz langsam mit gleichförmiger Geschwindigkeit um ihren Mittelpunkt in einer Ebene rotieren (man benützt zu diesem Zweck sogenannte Rotationsapparate), so erkennt man auch während der Rotation die einzelnen Sektoren deutlich. Wenn man aber die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe mehr und mehr steigert, so verschwinden die Sektoren allmählich. Die Scheibe erscheint zunächst ungleichmäßig grau, sie „flimmert"; bei einer gewissen großen Sukzessionsgeschwindigkeit der Reize macht sie dann einen ganz gleichmäßigen, grauen Eindruck, sie erzeugt also eine intensiv und qualitativ vollkommen konstante Empfindung. Ganz analoges gilt nun auch, wenn wir ein anderes Größen-

verhältnis der zwei Sektoren wählen (Fig. 2) oder wenn wir statt weiß und schwarz andere Stufen der Grauskala benutzen oder wenn wir farbige Papiere (rot, grün usw.) oder endlich, wenn wir statt zwei Sektoren deren mehrere verwenden (Fig. 3). In allen diesen Fällen bleiben bei ganz langsamer Rotationsgeschwindigkeit die einzelnen Sektoren sichtbar, um dann bei Steigerung der Geschwindigkeit einem Flimmern und schließlich einem ganz kontinuierlichen Eindruck Platz zu machen.

Es ist nun ganz klar, daß die bisher beschriebenen höchst einfachen Tatsachen nicht an das Scheibenmodell gebunden sind. Sie gelten ganz allgemein, wo zwei oder mehrere optische Reize sukzessive und periodisch auf unsere Netzhaut wirken. Ob wir ein abwechselnd weißes und schwarzes Band an unserem Auge vorbeieilen lassen, oder ob wir mit Hilfe des Kinematographen sukzessive und periodisch ein und dasselbe Bild projizieren, immer kommen bei ganz langsamer Sukzessionsgeschwindigkeit die einzelnen Reize zum Bewußtsein, während wir bei Steigerung der Sukzessionsgeschwindigkeit zunächst ein Flimmern und schließlich ein subjektiv unverändertes Bild wahrnehmen. Von zwei oder mehreren aufeinander folgenden Reizen, die eine einzige konstante Empfindung oder Wahrnehmung erzeugen, wollen wir der Kürze halber einfach sagen: sie verschmelzen. Daß der Ausdruck Verschmelzung in der Psychologie auch in ganz anderem Sinne gebraucht wird, kommt hier nicht in Frage. Im Interesse der Kürze soll später gelegentlich auch von „verschmelzenden“ Scheiben gesprochen werden.

---

§ 5. Die Größen *t*, *m* und *v*.

Wenn wir eine Scheibe nach Art der in Fig. 1 und 2 abgebildeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotieren lassen und beobachten, so wird eine Stelle (ein „Punkt") des lichtempfindlichen Bestandteils unseres Auges, der sogenannten Retina oder Netzhaut sukzessive und periodisch durch einen intensiven und dann wieder durch einen weniger intensiven Reiz affiziert. Die Zeit, welche vergeht, während ein Retinapunkt durch jeden der beiden Reize einmal getroffen wird, heißt eine Reizperiode oder eine Periodendauer oder kurzweg eine Periode.

Folgen allgemein zwei oder mehrere Reize sukzessive und periodisch aufeinander, dann bezeichnet man die Zeit zwischen dem Eintreten irgend eines Reizes und dem Eintreten des nächsten ihm korrespondierenden Reizes als Periodendauer. Bezeichnen wir in Scheibe Fig. 1 oder in Scheibe Fig. 2 die Dauer der beiden Reize mit d_1 und d_2, so wird die Dauer der Periode gleich $d_1 + d_2$. Analog ist die Dauer der Periode für Scheibe Fig. 3 gleich $d_1 + d_2 + d_3 + d_4$. Wir bezeichnen nun ganz allgemein die Dauer einer Periode mit t. Es ist klar, daß bei rotierenden Scheiben t keineswegs immer mit der Umdrehungsdauer einer Scheibe zusammenfällt. Dies ist zwar z. B. der Fall bei den Scheiben nach dem Typus der Figuren 1, 2, 3, aber keineswegs bei Scheibe Figur 4, wo die Umdrehungsdauer doppelt so groß ist als t.

*
*   *

Wenn wir eine Scheibe nach Art der in Fig. 1 abgebildeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotieren lassen und annehmen, daß der weiße Reiz 60 mal so viel Licht reflektiert als der schwarze,[1]) so folgen jeweils eine Anzahl von Elementarreizen der Intensität 60 auf solche von der Intensität 1, dann folgen wieder solche von der Größe 60 usw. Drehen wir nun die Scheibe so schnell, daß ein Reiz nur aus einem Elementarreiz besteht, so folgen einander die Elementarreize

1, 60, 1, 60, 1, 60 usw.,

von denen je zwei aufeinander folgende eine Periode bilden.

Mit dem Ausdruck *m* bezeichnen wir nun das arithmetische Mittel der Größen der Elementarreize einer Periode. *m* ist also für den eben erörterten Fall gleich

$$\frac{1 + 60}{2} = 30{,}5\,.$$

Lassen wir die Reize mit halber Geschwindigkeit folgen, so ergeben sich die Elementarreize

1, 1, 60, 60, 1, 1, 60, 60 usw.,

wobei *t* nicht 2 sondern 4σ lang dauert. In diesem Fall wird *m* gleich

$$\frac{2 \cdot 1 + 2 \cdot 60}{4},$$

d. i. wiederum 30,5.

Wir sehen hieraus, daß das arithmetische Mittel *m* der Elementarreize einer Periode unabhängig ist von der absoluten Dauer der einzelnen Reize, daß es vielmehr durch das Verhältnis der Dauer der einzelnen Reize zur Größe *t* bestimmt

---

[1]) Die Bestimmung der relativen Lichtmengen, die von grauen, weißen und schwarzen Papieren reflektiert werden, erfolgt am besten mit Hilfe des Kirschmannschen Photometers (Philosophische Studien, Bd. 5, S. 292 ff., 1889).

wird. Lassen wir deshalb z. B. die Scheiben Fig. 1 und Fig. 4 mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotieren, so wird *m* in beiden Fällen gleich

$$\frac{1 + 60}{t} = \frac{61}{2}.$$

Bezeichnen wir allgemein die sukzessiv periodischen Reize mit $R_1, R_2 \ldots R_n$ und deren Dauern mit $d_1, d_2 \ldots d_n$, so wird allgemein

$$m = \frac{d_1 \cdot R_1 + d_2 \cdot R_2 \ldots + d_n \cdot R_n}{d_1 + d_2 \ldots + d_n} = \frac{d_1 \cdot R_1 + d_2 \cdot R_2 \ldots + d_n \cdot R_n}{t}.$$

Bei dem speziellen Fall der mit gleichförmiger Geschwindigkeit rotierenden Scheiben (und überall, wo in dieser Schrift von rotierenden Scheiben die Rede ist, soll gleichförmige Geschwindigkeit vorausgesetzt werden) verhalten sich die Reizdauern zu *t* genau wie die Winkelgrößen der Sektoren zum Kreisumfang (gleich 360°). Unter der Voraussetzung der Einteilung des Kreises in 360° ist daher für eine aus zwei Sektoren bestehende Scheibe

$$m = \frac{\alpha \cdot R_1 + (360 - \alpha) \cdot R_2}{360},$$

wo α die Winkelbreite des Sektors bzw. des Reizes R_1 bedeutet.

* * *

Mit *v* bezeichnen wir die mittlere Variation der Elementarreize einer Periode. Die mittlere Variation von *n* Zahlen wird gebildet, indem man das arithmetische Mittel dieser Zahlen bildet, jede derselben vom Mittel subtrahiert und aus den so erhaltenen Werten wiederum ohne Rücksicht auf ihr Vorzeichen das Mittel bildet. Wir berechnen zunächst *v* für den Fall, daß die Reize 1 und 60 periodisch so

schnell aufeinander folgen, daß eine Periode nur die Elementarreize 1 und 60 enthält. m ist dann gleich 30,5. Ziehen wir diese Größe von 1 und 60 ab, so erhalten wir die Werte 29,5 und 29,5, deren Mittel wieder 29,5 beträgt. Der gesuchte Wert von v ist also 29,5. Zu demselben Resultat gelangen wir, wenn wir v für die Elementarreize 1, 1, 60, 60 oder für die Elementarreize 1, 1, 1, 1, 60, 60, 60, 60 bilden. Wir sehen also, daß auch v nicht von der absoluten Dauer der Reize einer Periode abhängt, sondern daß es von dem Verhältnis der Reizdauern zur Anzahl der Elementarreize der Periode, d. h. von dem Verhältnis der Reizdauern zur Größe t abhängt.

Wir wollen nun eine allgemeine Formel für die Größe v anschreiben. Wenn wir diejenigen Reize einer Periode, die gleich m oder kleiner sind als m mit $r_1, r_2 \ldots r_n$ und wenn wir die Reize, die größer sind als m mit $\varrho_1, \varrho_2 \ldots \varrho_n$ bezeichnen, wenn wir ferner die Dauern jener Reize mit $\delta_1, \delta_2 \ldots \delta_n$ und die Dauern dieser mit $\Delta_1, \Delta_2 \ldots \Delta_n$ bezeichnen, so ist

$$v = \frac{\delta_1(m-r_1)+\delta_2(m-r_2)\ldots+\delta_n(m-r_n)+\Delta_1(\varrho_1-m)+\Delta_2(\varrho_2-m)\ldots+\Delta_n(\varrho_n-m)}{\delta_1+\delta_2\ldots+\delta_n+\Delta_1+\Delta_2\ldots+\Delta_n}.$$

Da die Summe der Dauern der einzelnen Reize einer Periode gleich t ist, so können wir statt des Nenners des obigen Bruches einfach t einsetzen. Dann wird

$$v = \frac{\delta_1(m-r_1)+\delta_2(m-r_2)\ldots+\delta_n(m-r_n)+\Delta_1(\varrho_1-m)+\Delta_2(\varrho_2-m)\ldots+\Delta_n(\varrho_n-m)}{t}.$$

Wir bilden nun, um den Gebrauch dieser Formel zu erläutern, v für die Reize 3, 4, 6, 8, 9, wobei wir voraussetzen, daß jeder dieser Reize 10 σ lang dauere mit Ausnahme der Reize 4 und 8, die 20 σ lang wirken sollen.

m ist dann gleich

$$\frac{10 \cdot 3 + 20 \cdot 4 + 10 \cdot 6 + 20 \cdot 8 + 10 \cdot 9}{70} = 6,$$

$\delta_1 = 10$, $\delta_2 = 20$, $\delta_3 = 10$, $\Delta_1 = 20$, $\Delta_2 = 10$, $r_1 = 3$, $r_2 = 4$, $r_3 = 6$, $\varrho_1 = 8$, $\varrho_2 = 9$. $t = 10 + 20 + 10 + 20 + 10 = 70$. Setzen wir alle diese Werte ein, so wird

$$v = \frac{10(6-3) + 20(6-4) + 10(6-6) + 20(8-6) + 10(9-6)}{70} = 2.$$

In der folgenden Tabelle 1 wollen wir die mittlere Variation für einige Gruppen von je 6 Elementarreizen berechnen. Diese Gruppen enthalten die Elementarreize 3 und 9 in verschiedener Anzahl. Die dritte Kolumne der Tabelle 1 enthält Quotienten, welche das Verhältnis der Anzahlen wiedergeben, in denen die beiden Elemente in der Gruppe vorkommen. In diesen Quotienten steht, wofern die Anzahlen der beiden Elementarreize verschieden sind, die größere Anzahl stets in dem Dividendus. Wir wollen solche Quotienten als charakteristische Quotienten bezeichnen.

Tabelle 1.

	Mittlere Variation (v)	Charakteristische Quotienten
3 3 3 3 3 3	0,0	(6 : 0 =) ∞
9 3 3 3 3 3	1,7	(5 : 1 =) 5
9 9 3 3 3 3	2,7	(4 : 2 =) 2
9 9 9 3 3 3	3,0	(3 : 3 =) 1
9 9 9 9 3 3	2,7	(4 : 2 =) 2
9 9 9 9 9 3	1,7	(5 : 1 =) 5
9 9 9 9 9 9	0,0	(6 : 0 =) ∞

Die Tabelle zeigt, daß die mittlere Variation einer Gruppe von n Zahlen, die aus zweierlei Elementen besteht, um so größer ist, je kleiner der charakteristische Quotient ist und daß demnach der allgemeine Verlauf von v aus den charakteristischen Quotienten ohne weiteres ersichtlich ist.

Wird der Quotient gleich 1, so ist die mittlere Variation am größten, wird er gleich ∞, so ist die mittlere Variation am kleinsten, nämlich gleich 0. Die Tabelle zeigt auch, daß es für die mittlere Variation von n Elementen zweierlei Art nur auf die charakteristischen Quotienten ankommt und daß es für dieselbe belanglos ist, ob das größere oder das kleinere Element häufiger vorkommt: Die Gruppen 3 3 3 3 3 9 und 9 9 9 9 9 3 einerseits sowie die Gruppen 3 3 3 3 9 9 und 9 9 9 9 3 3 andererseits haben, wie man sieht, jeweils gleiche mittlere Variation und dementsprechend gleiche charakteristische Quotienten.

In der folgenden Tabelle wollen wir die mittleren Variationen für einige Gruppen mit verschiedenen Elementen bilden, deren Elemente hinsichtlich ihrer Größe mehr oder weniger voneinander abweichen. Die Differenz der Größe der Elemente wird in der dritten Kolumne der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2.

	Mittlere Variation (v)	Differenz der Größe der Gruppenelemente
3 3 3 9 9 9	3	(9 − 3 =) 6
4 4 4 8 8 8	2	(8 − 4 =) 4
5 5 5 7 7 7	1	(7 − 5 =) 2
6 6 6 6 6 6	0	(6 − 6 =) 0
7 7 7 5 5 5	1	(7 − 5 =) 2
8 8 8 4 4 4	2	(8 − 4 =) 4
9 9 9 3 3 3	3	(9 − 3 =) 6

Diese Tabelle zeigt, daß die mittlere Variation einer Gruppe von Zahlen, die aus zweierlei Elementen besteht, um so geringer ist, je kleiner die Differenz der Größe der beiden Elemente ist. Die Differenz der Elemente 3 und 9 ist 6.

Hier ist die mittlere Variation, wie man sieht, größer als in den Fällen, wo die Differenz der Gruppenelemente kleiner ist. Wird dieselbe gleich 0, d. h. ist nur eine Art von Elementen vorhanden (6, 6, 6, 6, 6, 6), so wird auch die mittlere Variation gleich 0.

Die an der Hand der Tabelle 1 gewonnenen Sätze gestatten uns, ohne die Formel für v zu benutzen, den allgemeinen Verlauf von v für die Scheiben 5—9 zu bestimmen; auch der

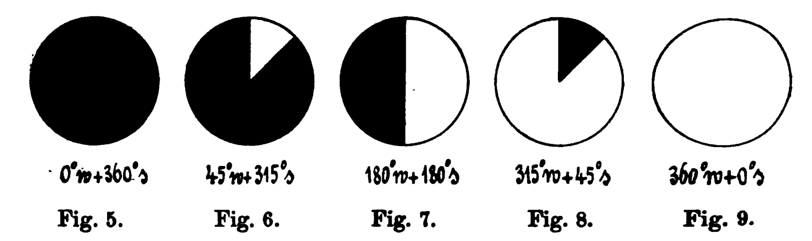


Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9.

Verlauf von m in diesen fünf Scheiben läßt sich nach einem Blick auf die Scheiben ohne weiteres im allgemeinen übersehen. m wächst mit der Dauer des intensiveren (weißen) Reizes, v nimmt zu, wenn der charakteristische Quotient abnimmt und ist am größten, wenn dieser gleich 1 ist.

Wir nehmen an, daß die Scheiben die Reize 1 und 60 in verschiedener Ausdehnung enthalten, wie dies unter den Figuren 5—9 vermerkt ist, wobei der Reiz 60 mit w (weiß) und der Reiz 1 mit s (schwarz) bezeichnet ist. Daher ist v für die Scheibe Fig. 7 am größten und es nimmt ab bei den Scheiben Fig. 6 und 8 und noch mehr bei den Scheiben Fig. 5 und 9. m nimmt von Scheibe Fig. 5 bis Scheibe Fig. 9 fortwährend zu.

Hätten wir Scheiben mit gleich großen Sektoren aus grauen Papieren von verschiedener Helligkeit, so könnten wir die Größe von v in ihrem allgemeinen Verlauf ohne weiteres aus dem Verlauf der Differenzen der Gruppenelemente (analog Tabelle 2) bestimmen.

§ 6. Das Talbotsche Gesetz.[1])

Wir haben bereits gesehen, daß zwei oder mehrere sukzessiv und periodisch auf das Auge wirkende Reize bei genügender Sukzessionsgeschwindigkeit zu einer intensiv und qualitativ konstanten Empfindung verschmelzen. Zwei oder mehrere sukzessiv-periodische Reize verschmelzen also, wenn t genügend klein wird. Den größten Wert von t, bei welchem eine intensiv und qualitativ konstante Empfindung entsteht, nennen wir die kritische Periodendauer oder den kritischen Wert von t, den wir mit kt bezeichnen wollen. Die konstante Empfindung wird nun nicht geändert, wenn t einen beliebig kleineren Wert als den kritischen annimmt.

Dieser Satz läßt sich sehr leicht experimentell beweisen, wenn man zunächst eine aus zwei Sektoren bestehende rotierende Scheibe sich so schnell drehen läßt, daß sie eben verschmilzt und wenn man dann die Rotationsgeschwindigkeit beliebig steigert. Man sieht dann, daß die Scheibe sich subjektiv nicht verändert, wie sehr ihre Geschwindigkeit auch wachsen möge, d. h. man sieht, daß die konstante Empfindung für kt und alle kleineren Werte von t dieselbe ist.

Sie ändert sich dagegen, wenn m variiert. Lassen wir die Scheiben Fig. 5—9 so schnell rotieren, daß sie ver-

---

[1]) Zur Literatur für die §§ 6, 7, 8 vergleiche außer den zu zitierenden Arbeiten meine Schrift: Tatsachen und Theorien des Talbotschen Gesetzes. Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 97, S. 353 ff., 1903.

schmelzen, so wird Scheibe Fig. 5 am dunkelsten und jede der folgenden Scheiben erscheint heller als die vorhergehende. Da wir nun sahen (§ 5), daß *m* für die Scheiben 5—9 allmählich wächst, so ergibt sich, daß die resultierende konstante Empfindung um so intensiver ist, je größer *m* wird.

Aus unseren bisherigen Betrachtungen dieses Paragraphen folgt also, daß im Verschmelzungsfall die resultierende Empfindung von *t* unabhängig ist und daß sie eine Funktion von *m* ist.

Wenn nun im Verschmelzungsfall *m* gleich bleibt, *v* aber variiert, so ist die resultierende Empfindung von *v* unabhängig. Denn jede beliebige rotierende, zur Verschmelzung kommende Scheibe *x* ist bei beliebigem *v*-Wert einer ruhenden, ganz homogenen Scheibe *y* gleich, die wir als rotierende Scheibe mit dem *v*-Wert 0 betrachten können. Zahlreiche, mit photometrischen Bestimmungen verbundene, experimentelle Untersuchungen[1]) sowie die gesamten Erfahrungen beim Arbeiten mit rotierenden Scheiben zeigen nun, daß die Scheiben *x* und *y* jeweils gleiche *m*-Werte (bei verschiedenen *v*-Werten) besitzen. Diese Tatsache lehrt daher, daß die resultierende Empfindung bei verschiedenen *v*-Werten lediglich durch die *m*-Werte bestimmt wird. Von den Tatsachen der Unterschiedsempfindlichkeit abgesehen, die zunächst außer Betracht bleiben können und erst im § 8 behandelt werden sollen, dürfen wir die bisherigen Darlegungen dieses Paragraphen in dem Satz zusammenfassen: Die bei sukzessiv-periodischen Reizen resultierende konstante Emp-

---

[1]) Vgl. v. Helmholtz (Handbuch der physiologischen Optik, 2. Aufl. p. 483 ff., 1896). Plateau (Bulletin de l'Academie royale de Bruxelles, 1835, Nr. 2, S. 52 und Nr. 3, S. 89 u. Pogg. Ann. Bd. 35, S. 457 ff.). Kleiner (Pflügers Archiv Bd. 18, S. 542 ff., 1879). Lehmann (Philos. Stud. Bd. 4, S. 232 ff., 1888). Wiedemann u. Messerschmitt (Wied. Ann. Bd. 34, 1888, S. 463 ff.). G. N. Stewart (Proc. Roy. Soc. Edinb. 1889, 15, S. 441 ff.).

findung ist unabhängig von t und v und wird durch m bestimmt.

Dies ist das sogenannte TALBOTsche Gesetz, welches in weniger allgemeiner Form zunächst von TALBOT[1]) aufgestellt und dann von HELMHOLTZ[2]) erweitert wurde. Die HELMHOLTZsche Formulierung lautet: „Wenn eine Stelle der Netzhaut von periodisch veränderlichem und regelmäßig in derselben Weise wiederkehrendem Lichte getroffen wird, und die Dauer der Periode hinreichend kurz ist, so entsteht ein kontinuierlicher Eindruck, der dem gleich ist, welcher entstehen würde, wenn das während einer jeden Periode eintreffende Licht gleichmäßig über die ganze Dauer der Periode verteilt würde." Die oben gesperrt gedruckte Formulierung ist von mir im Hinblick auf die theoretische Begründung des TALBOTschen Gesetzes und der in § 7 behandelten Tatsachen gewählt worden.

---

[1]) Philos. Magaz. Nov. 1834, S. 327 ff.

[2]) Handbuch der Physiologischen Optik, 2. Aufl. S. 483. 1. Aufl. S. 339.

§ 7. Über die Tatsachen, von welchen die Größe der kritischen Periodendauer (*kt*) abhängt.

Mit dem soeben erörterten TALBOTschen Gesetz im engeren Sinne hängen einige andere Tatsachen zusammen. Daß für sukzessiv-periodische Reize, die noch nicht verschmelzen, die Verminderung von t die Verschmelzung befördert, ergibt sich bereits aus dem früher Mitgeteilten. Wie steht es aber mit dem Einfluß von v und m auf das Verschmelzungsphänomen? Daß die Verkleinerung von v bei noch nicht verschmelzenden, sukzessiv-periodischen Reizen die Verschmelzung begünstigt, läßt sich leicht experimentell zeigen mit Hilfe der Scheiben Fig. 5—9, für welche ich den Wert von kt experimentell feststellen ließ, nachdem ich die Werte v und m berechnet hatte. Man lese

Tabelle 3.

Beobachter: Dr. PETERS.

Scheibe	v	m	kt
5	0	1,00	∞
6	12,91	8,38	23
7	29,50	30,50	19
8	12,91	52,63	27
9	0	60,00	∞

Die Versuche dieser Tabelle sind bei künstlicher Beleuchtung angestellt in einer Entfernung von $1^1/_2$ m von der

Scheibe, deren Umdrehungsdauer mittels eines an der Scheibenachse angebrachten Tourenzählers abgelesen werden konnten. Die kritischen Periodendauern sind wie in allen Tabellen der vorliegenden Schrift in Tausendstelsekunden (σ) angegeben. Die Zeichen ∞ bedeuten, daß für die entsprechenden Scheiben bei beliebig langsamer Rotation eine konstante Empfindung eintritt, was ja bei ganz homogenen Scheiben selbstverständlich ist. Die Tabelle lehrt, daß die kritische Periodendauer am kleinsten ist, wenn v am größten ist (Scheibe Fig. 7). Je kleiner v ist, desto größer wird kt, desto langsamer darf sich also die Scheibe drehen, um gerade zur Verschmelzung zu kommen. Die Verminderung von v befördert also die Verschmelzung.[1]) Würden wir daher bei sukzessiv-periodischen Reizen, die nicht verschmelzen, unter Beibehaltung der Werte m und t die Größe von v verringern, so würden wir dieselben der Verschmelzung näher bringen.

Die Tabelle 3 zeigt nun aber, daß kt nicht nur von v, sondern auch von m abhängig ist. Wir sehen nämlich, daß v für die Scheiben 6 und 8 jeweils gleich ist. Trotzdem ist aber, wie die Tabelle lehrt, kt für 8 größer als für 6. Dies rührt daher, daß auch m für 8 größer als für 6 ist. Die Tabelle zeigt also, daß kt mit wachsendem m gleichfalls wächst. Je größer also m ist, desto größer ist kt, desto leichter verschmelzen demnach die Reize. Die Vergrößerung von m befördert demnach die Verschmelzung.

Wenn wir eine rotierende Scheibe immer stärker und stärker beleuchten, so wird hierdurch gleichzeitig m und v vergrößert. Daß m mit zunehmender Stärke der Belichtung

---

[1]) Den ausführlicheren experimentellen Nachweis der aus Tabelle 3 abgeleiteten Tatsachen habe ich in den Philosophischen Studien Bd. 9, S. 384 ff., 1894 gegeben.

wächst, ist ohne weiteres klar. v wächst deshalb, weil mit zunehmender Beleuchtung die Unterschiede der Reize und daher auch die der Elementarreize wachsen, was ohne weiteres eine Vergrößerung von v bedeutet. Sind die Reize 1 und 60 gegeben, so erhalten wir bei doppelter Intensität der Beleuchtung die Reize 2 und 120, bei dreifacher die Reize 3 und 180 usf. Da die Vergrößeräng von m die Verschmelzung befördert, die Vergrößerung von v derselben hinderlich ist, so läßt es sich nicht a priori entscheiden, ob die Verstärkung der Beleuchtung einer rotierenden Scheibe für die Verschmelzung günstig ist oder nicht. Die Erfahrung zeigt aber zweifellos, daß der Einfluß der Vergrößerung von v immer gegenüber dem Einfluß der Verstärkung von m überwiegt, daß also eine rotierende Scheibe um so mehr flimmert, je stärker sie beleuchtet wird. Man kann sich von diesem Sachverhalt leicht überzeugen, wenn man eine künstlich beleuchtete Scheibe so schnell rotieren läßt, daß sie eben verschmilzt, und wenn man dann die Lichtquelle der Scheibe nähert.

Die Verschmelzung wird nun auch gefördert durch die Verkleinerung des in seiner Helligkeit variierenden Gesichtsfeldes. Ein kreisförmiges, ganz kleines, etwa $1/2$ qcm großes, Gesichtsfeld verschmilzt leichter, also bei größerem t-Wert, als ein größeres, etwa 6 qcm großes, Gesichtsfeld. Betrachten wir eine kleine rotierende Scheibe auf schwarzem Hintergrund, so verschmilzt sie leichter als wenn wir sie auf hellem Hintergrund beobachten. Ein dunkler Hintergrund wirkt infolge des Kontrastes wie eine Vergrößerung, ein heller wie eine Verkleinerung der mittleren Intensität m. An der Stelle, wo wir eine rotierende Scheibe fixieren, verschmilzt sie bei größerem t-Wert als an den übrigen Scheibenstellen, welche auf die Seitenteile der Netzhaut fallen.[1]) Betrachtet man

---

[1]) Vgl. Marbe, Philosophische Studien, Bd. 9, S. 389, 1894.

sukzessiv-periodische Reize in einem sonst dunkeln Raum, so wird *kt* auch abhängig von der Zeit, innerhalb welcher man sich vor der Beobachtung im Dunkeln aufhielt. Je mehr das Auge an die Dunkelheit gewöhnt wird, desto leichter wird das Flimmern bemerkt. Speziell bei rotierenden Scheiben ist auch der Einfluß der sogenannten Konturenbewegung bemerkenswert. Lassen wir Scheibe Fig. 1 und Scheibe Fig. 4 so schnell rotieren, daß für beide Scheiben *t* gleich ist, so bewegen sich die Konturen der Sektoren in Scheibe Fig. 4 nur halb so schnell als in Scheibe Fig. 1. Ganz allgemein drehen sich bei verschiedenen Scheiben mit gleichen *t*-Werten die Konturen um so langsamer, je größer die Periodenzahlen sind, welche durch die Scheiben dargestellt werden. Je langsamer nun die Konturen sich bewegen, je größer also die Periodenzahl einer Scheibe ist, desto kleiner wird *kt*.

Die Theorie all der zuletzt genannten Einflüsse auf das Verschmelzungsphänomen ist im einzelnen noch nicht endgültig festgelegt. Das TALBOTsche Gesetz dagegen und der Einfluß der Werte *t*, *v* und *m* auf das Verschmelzungsphänomen lassen eine theoretische Begründung zu. Dieselbe soll im folgenden Paragraphen gegeben werden.

---

§ 8. Theorie des Talbotschen Gesetzes und der Abhängigkeit der Verschmelzung von t, v und m.

Wenn Licht auf unsere Netzhaut wirkt, so erzeugt es in derselben gewisse physiologische Vorgänge, Erregungen genannt, die sich im Sehnerv nach dem Gehirn fortpflanzen, um dort, in der sogenannten Sehsphäre neue Erregungen auszulösen. Mit diesen (zentralen) Erregungen sind die psychologischen Vorgänge verbunden, die wir als Sehen des Lichtes bezeichnen. Auf analoge Weise kommen alle unsere Gesichtsempfindungen zustande. Wir können also sagen: die Gesichtsempfindungen sind Funktionen zentraler Erregungen, die durch Reize ausgelöst werden.

Betrachtet man eine weiße Fläche durch einen photographischen Momentverschluß, so erscheint sie grau und zwar um so dunkler, je kürzere Zeit sie sichtbar war. Die zentrale Erregung und die ihr entsprechende Empfindung klingt daher allmählich an, um erst bei genügend lange andauerndem Reiz ihr Maximum zu erreichen. Bei allen Reizen sind Bruchteile von Sekunden erforderlich, bis das Empfindungsmaximum erreicht wird. Hat andererseits ein Reiz längere Zeit angedauert, um dann plötzlich zu verschwinden, so klingt die Empfindung, nachdem sie den Reiz kurze Zeit überdauert hat, nicht plötzlich, sondern allmählich ab, — ein Vorgang, den man freilich in der Regel nur mit Hilfe

besonderer Versuchseinrichtungen beobachten kann.[1]) Die Tatsachen des An- und Abklingens lehren daher, wie übrigens auch andere Umstände, daß das durch optische Reize erregte physiologische System zu träge ist, um den Änderungen der Reize momentan zu entsprechen. Die zentralen Erregungen und die ihnen korrespondierenden Empfindungen stellen sich also nicht plötzlich, sondern allmählich auf aufeinander folgende, länger andauernde Reize ein. Wenn daher sukzessive und periodisch mehrere Reize auf die Netzhaut wirken, so muß es eine gewisse Sukzessionsgeschwindigkeit, also einen gewissen kleinen Wert von t geben, bei welchem die zentrale Erregungsänderung der Reizänderung überhaupt nicht mehr folgen kann, bei der also eine resultierende zentrale Erregung entsteht, die sich subjektiv durch die sogenannte Verschmelzung der Reize zu einer konstanten Empfindung geltend macht. So läßt sich die Tatsache der Verschmelzung auf bekannte Tatsachen der psychologischen Optik zurückführen. Warum aber ist die resultierende Empfindung gerade durch m bestimmt?

Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir zunächst noch einiges über die Unterschiedsempfindlichkeit sagen. Wir haben schon in § 2 gesehen, daß ein Reiz erst bemerkt wird, wenn seine Intensität den Wert 0 um einen bestimmten, keineswegs unendlich kleinen Betrag überschritten hat. Wir können diese Tatsache auch dahin ausdrücken, daß wir sagen: Reize von der Intensität 0 und solche, welche den Wert 0 um weniges überschritten haben, haben dieselbe subjektive Wirkung.

Aber auch auf höheren Stufen der Intensitätsskala der

---

[1]) Über speziellere Tatsachen des Abklingens, welche für diese Schrift nicht in Frage kommen, vgl. C. Hess in Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 10, S. 226 ff., 1904 und P. Müller, Archiv für die gesamte Psychologie, Bd. 14, S. 358 ff., 1909.

Reize gilt Analoges. Wenn man von zwei intensiveren, gleich hellen Reizen, etwa zwei gleich hell beleuchteten weißen Flächen, die Intensität der einen steigert oder vermindert, so ergibt sich, daß der Unterschied erst dann erkannt wird, wenn er eine gewisse Größe erreicht hat. Der Wert, um welchen man die Intensität eines Reizes vermehren oder vermindern muß, damit die Veränderung eben wahrgenommen wird, heißt die obere bzw. untere Unterschiedsschwelle für diesen Reiz. Die Unterschiedsschwellen sind nun um so größer, je intensiver die Reize sind. Einen sehr intensiven Reiz muß man daher in seiner Intensität mehr vergrößern oder verkleinern als einen schwächeren, wenn der Unterschied erkannt werden soll. Wir können diese Tatsache auch dahin ausdrücken, daß wir sagen: die Empfindlichkeit für Reizunterschiede, d. i. die sogenannte Unterschiedsempfindlichkeit ist um so kleiner, je größer die Intensität der Reize ist, für welche sie bestimmt wird. Dieser Satz soll indessen nichts aussagen über das gegenseitige Größenverhältnis, in welchem die Reize einerseits und die Unterschiedsempfindlichkeiten andererseits wachsen. Auch ist er für sehr intensive im Gebiet der sogenannten Reizhöhe liegende Reize nicht mehr zutreffend. Doch kommen so intensive Reize für die in dieser Schrift zu erörternden Probleme nicht in Betracht.

Zwei Reize können nun als zwei Gruppen aufeinander folgender, unter sich gleicher Elementarreize betrachtet werden. Wir dürfen daher sagen: Zwei Gruppen unter sich gleicher aufeinander folgender Elementarreize erzeugen gleiche Empfindungen, wenn die Elementarreize der beiden Gruppen einander genügend nahe stehen. Die Elementarreize der zwei Gruppen dürfen um so mehr voneinander verschieden sein, um gerade noch gleiche Empfindungen zu erzeugen, je größer die Elementarreize sind.

Wir haben nun am Anfang dieses Paragraphen gesehen, daß nicht nur konstante, sondern auch sukzessiv-periodische Reize konstante Empfindungen erzeugen, wenn t so klein wird, daß die zentralen Erregungen und daher die ihnen entsprechenden Empfindungen den Reizänderungen nicht mehr folgen können. Nicht nur aufeinander folgende unter sich gleiche, sondern auch aufeinander folgende unter sich verschiedene Elementarreize können also konstante Empfindungen erzeugen. Es werden daher auch zwei Gruppen von Elementarreizen, die zwei konstante Empfindungen erzeugen, wenn die Elementarreize der beiden Gruppen genügend übereinstimmen, zwei gleiche konstante Empfindungen hervorrufen, mögen nun die Gruppen jeweils aus unter sich gleichen oder unter sich verschiedenen Elementarreizen bestehen. Und auch hier wird sich der Einfluß der Intensitäten oder der Größe der Elementarreize auf die Unterschiedsempfindlichkeit geltend machen.

Wenn wir daher eine Serie aufeinander folgender gleicher Elementarreize als gleichmäßige Lichtverteilung und eine Serie aufeinander folgender unter sich nicht gleicher Reize als ungleichmäßige Lichtverteilung bezeichnen, so dürfen wir zusammenfassend sagen: zwei Lichtverteilungen erzeugen gleiche zentrale Erregungen und Empfindungen, wenn sie genügend übereinstimmen, mag es sich um zwei gleichmäßige oder zwei ungleichmäßige oder um eine gleichmäßige und eine ungleichmäßige Lichtverteilung handeln. Die erforderliche Übereinstimmung wird um so geringer, je größer m ist.

Gegeben sei nun irgend ein konstanter Reiz, dessen Intensität gleich x ist. Wir können ihn dann betrachten als eine Serie aufeinander folgender Elementarreize, für welche t unendlich klein und m gleich x ist. Gegeben seien andererseits mehrere unter sich verschiedene, sukzessiv-periodische Reize, für die m gleichfalls gleich x ist. Dieselben sollen

zunächst so langsam aufeinander folgen, daß wir die Reize deutlich erkennen können. Je schneller wir nun die sukzessiv-periodischen Reize folgen lassen, je kleiner also t wird, desto mehr nähern sie sich dem Fall, wo t unendlich klein ist, d. h. dem Fall der gleichmäßigen Lichtverteilung, bei der m gleich x ist. Da nun nicht nur gleiche, sondern auch genügend ähnliche Lichtverteilungen gleiche zentrale Erregungen bzw. Empfindungen auslösen, so müssen, wenn t genügend klein wird, die sukzessiv-periodischen Reize, für die m gleich x ist, denselben Eindruck machen wie der konstante Reiz, für den m gleich x ist.

Es ergibt sich also allgemein, daß sukzessiv-periodische Reize, für welche m gleich x ist, sich mit der Verminderung von t einem konstanten Reiz, für den m ebenfalls gleich x ist, nähern und daß schließlich die sukzessiv-periodischen Reize dem konstanten Reiz gleich erscheinen müssen, da genügend ähnliche Lichterscheinungen gleich erscheinen. Hiermit ist das Talbotsche Gesetz im engeren Sinne des Wortes theoretisch abgeleitet. Wir haben aus bekannten Tatsachen deduziert, daß die konstante Empfindung bei sukzessiv-periodischen Reizen durch m bestimmt ist, wenn t genügend klein ist, d. h. wenn die kritische Periodendauer erreicht ist.

Hiermit haben wir auch schon dargetan, daß eine Verminderung von t bei Reizen, die noch keine konstante Empfindung erzeugen, diese Reize der Verschmelzung näher bringen muß.

Daß auch die Verminderung von v die Verschmelzung befördert, ergibt sich ohne weiteres, wenn wir bedenken, daß wir jede gleichmäßige Lichtverteilung als Grenzfall einer ungleichmäßigen betrachten können, für welche v gleich 0 ist. Je kleiner wir also in irgend einem Fall v machen, desto mehr nähern sich die sukzessiv-periodischen Reize einer gleichmäßigen Lichtverteilung, also dem Fall des konstanten

Reizes. Da nicht nur gleiche, sondern auch einander genügend nahe stehende, d. h. ähnliche Lichtverteilungen gleiche Empfindungen hervorrufen, so wird die Verschmelzung schon eintreten, wenn v den Wert 0 noch nicht erreicht hat. Die Verminderung von v muß also die Verschmelzung befördern.

Auch daß die Vergrößerung von m die Verschmelzung begünstigt, ist leicht einzusehen. Wir führten aus, daß zwei Lichtverteilungen gleiche Empfindungen erzeugen, wenn sie genügend übereinstimmen und daß die erforderliche Übereinstimmung um so geringer wird, je größer m für diese Lichtverteilungen ist. Die aus sukzessiv-periodischen Reizen bestehenden Lichtverteilungen brauchen daher um so weniger mit konstanten Lichtverteilungen übereinzustimmen, d. h. sie dürfen um so größere t- und v-Werte aufweisen, um doch noch diesen konstanten Lichtverteilungen gleich zu erscheinen, je größer m für die sukzessiv-periodischen Reize ist. Die Vergrößerung von m fördert daher die Verschmelzung.

---

§ 9. Allgemeine Bedeutung des Talbotschen Gesetzes und des Einflusses von t, v und m auf die Verschmelzung.

Wir haben bisher nur von solchen Reizen gesprochen, denen farblose Empfindungen entsprechen. Wir wenden uns jetzt kurz zur Betrachtung farbiger Reize. Für diese gelten zunächst alle Tatsachen und Theorien, welche wir in den §§ 6—8 entwickelt haben, d. h. es gelten für farbige Reize genau dieselben Tatsachen und Überlegungen, wie für farblose Reize, die gleiche objektive Helligkeit haben, wie die farbigen.[1]) Auch die Qualität der Reize als solche scheint indessen einen Einfluß auf die kritische Periodendauer auszuüben. Doch liegen hierüber keine speziellen Untersuchungen vor. Nur so viel ist bekannt, daß der Einfluß der Qualität auf die kritische Periodendauer sehr klein ist gegenüber dem Einfluß der Intensität. Auch scheint eine Farbe mit einem Grau gleicher Helligkeit um so leichter zu verschmelzen, je ungesättigter sie ist.[2])

Die Tatsachen des Talbotschen Gesetzes und des Einflusses von t, v und m auf die Verschmelzung gelten übrigens nicht nur für den Gesichtssinn, sondern auch für die übrigen Sinnesgebiete. Denn unsere theoretischen Darlegungen lassen

---

[1]) Marbe, Philosophische Studien, Bd. 12, S. 291ff., 1896.

[2]) Schenck, Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 68, S. 48ff., 1897.

sich auf alle Sinnesgebiete anwenden. In allen Sinnesgebieten haben die Begriffe Intensität und Dauer der Reize einen analogen Sinn, wie im Gebiet der Optik. Alle Reize aller Sinnesgebiete lassen sich in Elementarreize zerlegen. Überall gilt der Satz, daß die Erregung in einem Zeitelement eine Funktion mehrerer Elementarreize ist; in allen Sinnesgebieten gibt es eine gewisse Zeit des An- und Abklingens. Überall existiert eine Unterschiedsschwelle und eine Unterschiedsempfindlichkeit, die, in den allgemeinsten Zügen betrachtet, überall gleich verläuft. Es läßt sich demnach für alle Sinnesgebiete theoretisch nachweisen, daß auch für sie das Talbotsche Gesetz und der erörterte Einfluß der Größen t, v und m gelten muß. Daß dies für den Gehöhrsinn tatsächlich der Fall ist, habe ich experimentell bewiesen.[1])

Diese Tatsachen haben aber nicht nur eine sinnesphysiologische, sondern auch eine allgemeine mechanische Bedeutung. Wenn zwei oder mehrere intensiv verschiedene Reize sukzessive und periodisch auf ein Sinnesorgan wirken und wenn wir die Reize als Kräfte und die Erregungen, welche den durch die Reize ausgelösten Empfindungen parallel gehen, als Wirkungen dieser Kräfte betrachten, wenn wir ferner die Kräfte (analog unserer Einteilung der Reize) in Elementarkräfte einteilen und für dieselben die Werte v und m bilden, so ergeben sich auf Grund unserer Theorie folgende Sätze:

1. Für die Kräfte $\varkappa_1, \varkappa_2 \ldots \varkappa_n$, welche mit den Dauern $\tau_1, \tau_2 \ldots \tau_n$ sukzessive und innerhalb der Zeit t periodisch auf einen Körper wirken, gibt es einen bestimmten, kritischen Wert von t. Bei ihm und bei allen kleineren Werten von t

---

[1]) Akustische Prüfung der Tatsache des Talbotschen Gesetzes, Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 100, S. 551 ff., 1903.

üben die Kräfte innerhalb der Zeit t dieselbe Wirkung aus, wie eine konstante Kraft von der Größe

$$\frac{r_1 \cdot x_1 + r_2 \cdot x_2 \ldots + r_n \cdot x_n}{t}.$$

Dieser Satz gilt auch für alle Werte von t, die kleiner sind als der kritische.

2. Die Wirkung der sukzessiv-periodischen Kräfte nähert sich der Wirkung der konstanten Kraft mit der Abnahme von t und v und der Zunahme von m.

Daß diese Sätze in der Tat eine allgemeine mechanische Bedeutung besitzen, ergibt sich aus von mir früher[1]) mitgeteilten Überlegungen.

---

[1]) Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 97, S. 383 ff., 1903.

§ 10. Die Periodenelemente.

Wir können jede Periode so betrachten, als bestehe sie aus zwei oder mehreren unter sich gleichen Zeitabschnitten, die wir als Periodenelemente bezeichnen wollen. Es liegt nun ganz im Sinne unserer theoretischen Ausführungen, daß

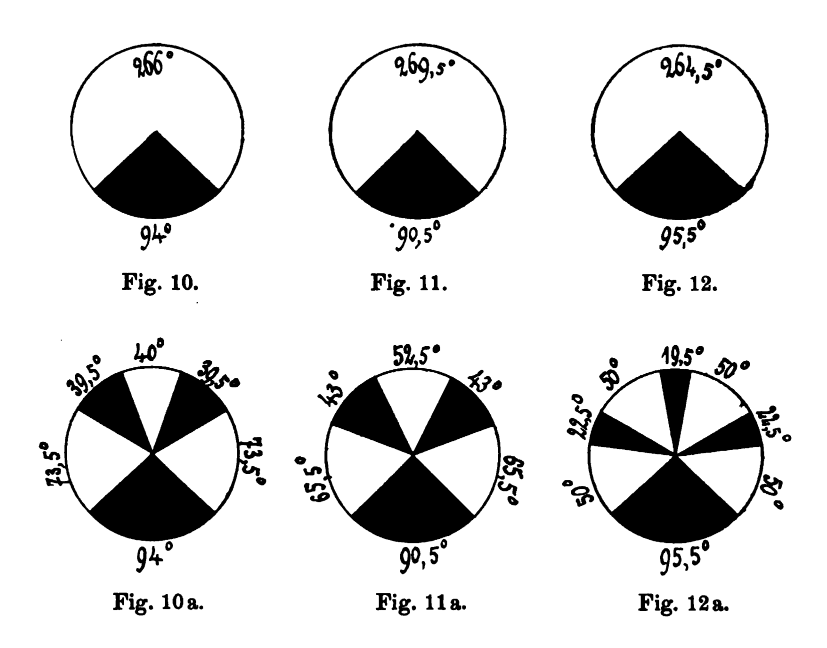


Fig. 10. Fig. 11. Fig. 12.

Fig. 10a. Fig. 11a. Fig. 12a.

die Verschmelzung um so mehr befördert wird, je besser die $\dot{m}$-Werte der Periodenelemente untereinander übereinstimmen. Dies folgt unmittelbar aus dem Grundsatz, daß die Verschmelzung um so leichter eintritt, je mehr sich die sukzessivperiodischen Reize einer gleichmäßigen Lichtverteilung nähern.

Daß die Verschmelzung tatsächlich um so leichter eintritt, je besser die m-Werte der Periodenelemente untereinander übereinstimmen, soll hier experimentell gezeigt werden. Gegeben seien Scheiben nach dem Typus der Figg. 10 und 10a, 11 und 11a, 12 und 12a. Wir berechnen für jede der Scheiben m und v; die Größen der weißen und schwarzen Sektoren sind den Abbildungen beigefügt. In der folgenden Tabelle teilen wir die Werte m und v für die sechs Scheiben mit. Die linksstehenden v- und m-Werte beziehen sich auf die Scheiben 10, 11, 12, die rechtsstehenden auf die Scheiben 10a, 11a, 12a.

Tabelle 4.

Scheibe	v	m	m	v	Scheibe
10	22,8	44,6	31,6	29,5	10a
11	22,2	45,2	31,1	29,5	11a
12	23,0	44,3	33,8	29,1	12a

Da für 10, 11, 12 v kleiner und m größer ist als für 10a, 11a, 12a, so müßten nach unseren bisherigen Ergebnissen die Scheiben Fig. 10, 11 und 12 leichter verschmelzen als die Scheiben Fig. 10a, 11a und 12a. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie folgende Tabelle zeigt. Die Beobachtungen wurden im beleuchteten Zimmer angestellt. Der Beobachter saß in 1 m Entfernung von der intensiv beleuchteten Scheibe.

Tabelle 5.

Beobachter: Dr. Peters.

Scheibe	kritische Periodendauer (kt)	kritische Periodendauer (kt)	Scheibe
10	28,2	49,4	10a
11	30,8	45,8	11a
12	27,8	42,2	12a

Ich lasse nun in den Figg. 13—15 und 13a—15a die Figg. 10—12 und 10a—12a nochmals folgen, wobei die

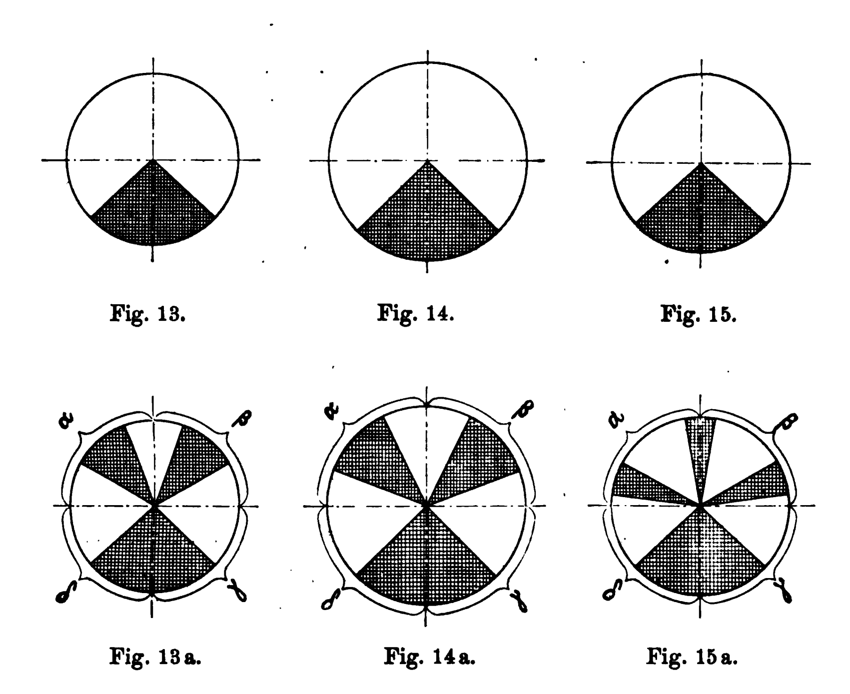


Fig. 13. Fig. 14. Fig. 15.

Fig. 13a. Fig. 14a. Fig. 15a.

schwarzen Sektoren durch schraffierte ersetzt sind. Zugleich teile ich die Scheiben mittels horizontaler und vertikaler Durchmesser ein.

Man sieht sogleich, daß sich sowohl die Scheiben der Figg. 13, 14, 15 als die Scheiben der Figg. 13a, 14a, 15a durch die vertikalen Durchmesser in je zwei Periodenelemente einteilen lassen, für die m gleich ist.

Die Figg. 13a, 14a und 15a lassen sich nun mittels eines vertikalen und eines horizontalen Durchmessers in vier, den Periodenelementen entsprechende gleich große Teile (α, β, γ, δ) zerlegen, deren m-Werte die folgende Tabelle wiedergibt.

Tabelle 6.

Figur	Teil	m	Mittlere Variation
13 a	α	34,11	2,46
	β	34,11	
	γ	29,19	
	δ	29,19	
14 a	α	31,81	0,74
	β	31,81	
	γ	30,34	
	δ	30,34	
15 a	α	38,86	5,08
	β	38,86	
	γ	28,70	
	δ	28,70	

Bildet man die analogen Periodenelemente für die durch die Figg. 13, 14, 15 bezeichneten Fälle, so gelangt man zur

Tabelle 6 a.

Figur	Teil	m	Mittlere Variation
13	α	60,00	15,41
	β	60,00	
	γ	29,19	
	δ	29,19	
14	α	60,00	14,83
	β	60,00	
	γ	30,34	
	δ	30,34	
15	α	60,00	15,65
	β	60,00	
	γ	28,70	
	δ	28,70	

In der letzten Kolumne der beiden vorhergehenden Tabellen sind die mittleren Variationen der vier *m*-Werte angegeben, die den vier Periodenelementen entsprechen. Man sieht, daß die *m*-Werte für die Scheiben 13a, 14a, 15a viel besser übereinstimmen als die für die Scheiben 13, 14 und 15 berechneten. Daher kommt es, daß die Scheiben 13, 14, 15 viel schlechter, d. h. erst bei geringeren *t*-Werten verschmelzen als die Scheiben 13a, 14a, 15a.

Hieraus folgt allgemein der Satz, daß die Verschmelzung um so mehr befördert wird, je besser die *m*-Werte der Periodenelemente untereinander übereinstimmen.

Auch den in diesem Paragraphen dargelegten Tatsachen ließe sich eine mechanische Bedeutung beilegen. Doch soll auf diesen Punkt in der vorliegenden Schrift nicht eingegangen werden.

---

§ 11. Bedeutung des Talbotschen Gesetzes und der Größen t, v und m für den Kinematographen.

Mittels des Kinematographen werden der Reihe nach verschiedene Bilder projiziert, welche in der Regel Phasen einer Bewegung darstellen und im Zuschauer den Eindruck einer objektiven kontinuierlichen Bewegung hervorrufen sollen. Die einzelnen, sukzessiven Bilder sind daher meist objektiv von einander verschieden. In fast allen praktischen Fällen ist aber diese Verschiedenheit nur eine partielle. Stellt eine kinematographische Vorführung z. B. einen Menschen oder eine Gruppe von Menschen vor, die sich bewegen, so sind die einzelnen Bilder dieser Menschen zwar verschieden, die Bilder des Hintergrundes sind aber doch in der Regel gleich. Und selbst die Bilder von Personen, die sich bewegen, brauchen in den aufeinander folgenden Phasen nicht in allen Flächenteilen verschieden zu sein. So kann z. B. sehr wohl ein Teil des Körpers eines als Jongleur arbeitenden Mannes vollständig ruhend sein. — Bisweilen sollen mittels des Kinematographen nicht Bewegungen vorgetäuscht, sondern ruhende Objekte dargestellt werden. Dies ist z. B. der Fall, wenn, wie dies im Kinematographentheater häufig geschieht, Titel von Szenen mittels periodisch wiederkehrender Schriftzeichen kinematographisch projiziert werden. In solchen Fällen sind die sukzessiv-periodischen Bilder in allen Stücken unter sich gleich.

Wir wollen nun zunächst den zuletzt erwähnten Fall erörtern, bei dem die sukzessiv-periodischen Bilder einander

vollkommen gleich sind. Wir nehmen dabei zunächst an, daß sie, wie dies bei den meisten Kinematographenmodellen zutrifft, durch lichtleere Zwischenräume unterbrochen werden.

Wenn dann die Dauer eines Bildes und eines Intervalls, die wir (in Anlehnung an unsere früheren Darlegungen) wiederum eine Periode nennen und mit t bezeichnen können, genügend klein wird, so erhalten wir eine konstante Wahrnehmung, bei welcher jedes Flimmern ausgeschlossen ist. Wir können diese Wahrnehmung in einzelne Teile einteilen, die untereinander verschiedene subjektive Helligkeit aufweisen können, in sich aber jeweils gleich hell sind. Wenn wir etwa sukzessive und periodisch das Wort Optik projizieren, so erscheint dasselbe auf dem Schirm, wenn t genügend klein ist, konstant wie in folgendem Schema (Fig. 16), bei welchem das Wort *Optik* hell auf dunklem Grunde zu denken ist.

Optik.

Fig. 16.

Die Wahrnehmung dieses Bildes können wir in einzelne, in allen Punkten subjektiv gleich helle Teile einteilen. Zu diesen Teilen gehört z. B. der Buchstabe *O*, welcher dem dunklen Grund gegenüber verschieden ist, aber in sich in allen Punkten gleiche subjektive Helligkeit aufweist. Für jeden dieser Teile, die wir der Wahrnehmung des ganzen Bildes gegenüber auch als Partialbilder bezeichnen können, muß das TALBOTsche Gesetz gelten, sowie die Sätze über den Einfluß von t, v und m. Denn alle diese Sätze gelten für

sukzessiv-periodische Reize, und in unserem Beispiel handelt es sich um nichts anderes.

Was nun für unser Beispiel zutrifft, das gilt für alle Fälle, in denen bei kinematographischen Vorführungen dasselbe Bild, immer wiederkehrend, projiziert wird. Wenn das Bild auf dem Schirm in keinem Teil mehr flimmert, so liegt eine konstante Wahrnehmung vor, welche in einzelne Partialbilder eingeteilt werden kann, die in allen Punkten oder Elementen gleiche subjektive Helligkeit aufweisen. Die scheinbare Helligkeit eines jeden Partialbildes ist im Verschmelzungsfall durch m bestimmt und unabhängig von t und v. Und für jedes Partialbild wird im Stadium vor der Verschmelzung diese gefördert durch Verminderung von t und v und Vergrößerung von m. Wenn wir daher sukzessive und periodisch dasselbe Bild projizieren, so wird es, auch als Ganzes betrachtet, um so eher aufhören zu flimmern, je kleiner t und v und je größer m ist.

Daß letzteres wirklich zutrifft, davon habe ich mich mittels der in Fig. 17 skizzierten Versuchsanordnung überzeugt.

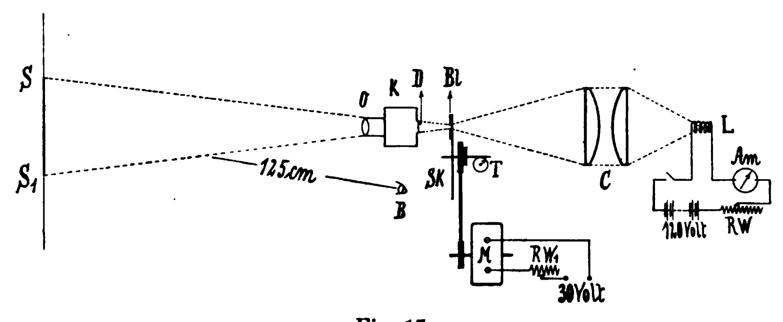


Fig. 17.

Ein feststehendes Diapositiv D, welches eine Kirche und einige Bäume darstellte, wurde in einem Kinematographengehäuse K befestigt und durch ein Objektiv O auf einen Schirm SS_1 in der Größe 25 : 30 cm projiziert. Der Be-

obachter *B* saß, ebenso wie bei den Versuchen der folgenden Tabellen 9 und 10, 1,25 m von dem Schirm entfernt. Die Beleuchtung von *D* erfolgte durch eine Focusglühlampe *L* vermittels des Kondensors *C*. Bei diesen und allen folgenden Versuchen kam eine Focusglühlampe statt einer Bogenlampe zur Verwendung, wodurch Schwankungen der Lichtquelle möglichst vermieden wurden. In den Stromkreis der Glühlampe war ein Regulierwiderstand *RW* und ein Amperemeter *Am* eingeschaltet. Die Lichtintensität wurde konstant gehalten und durch die Einstellung des Amperemeters kontrolliert. Die Abblendung des Diapositivs *D* erfolgte am Orte des Konvergenzpunktes der vom Kondensor kommenden Strahlen, wo eine Blende *Bl* mit 1 cm Lochweite angebracht war, vor der eine rotierende Scheibe *SK* mit ausgeschnittenen Sektoren passierte.

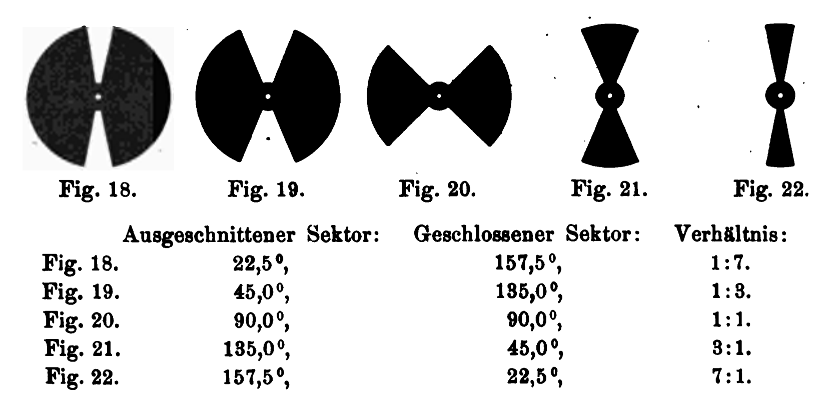


Fig. 18. Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21. Fig. 22.

	Ausgeschnittener Sektor:	Geschlossener Sektor:	Verhältnis:
Fig. 18.	22,5°,	157,5°,	1:7.
Fig. 19.	45,0°,	135,0°,	1:3.
Fig. 20.	90,0°,	90,0°,	1:1.
Fig. 21.	135,0°,	45,0°,	3:1.
Fig. 22.	157,5°,	22,5°,	7:1.

Zur Verwendung kamen nacheinander die fünf Scheiben, die in den Figg. 18—22 abgebildet sind. Jede Scheibe enthielt zwei unter sich gleich große feste (geschlossene, undurchsichtige) und zwei unter sich gleich große ausgeschnittene (offene) Sektoren. Die Größenverhältnisse der Sektoren sind unter den Figuren verzeichnet. Die Sektorenscheibe *SK* war auf einer mit einem Tourenzähler *T* verbundenen Achse

befestigt, die durch einen Motor *M* angetrieben wurde. Die Abblendung im Brennpunkt hatte den Zweck, eine möglichst gleichzeitige Aufhellung bzw. Verdunklung des ganzen Gesichtsfeldes zu bewirken. Die Rotationsgeschwindigkeit der Sektorenscheibe war durch Regulieren an dem Widerstand RW_1 im Motorstromkreise in weitesten Grenzen variierbar. Die Spannung im Motorstromkreise betrug 30 Volt, die im Stromkreis der Focuslampe 120 Volt.

Wenn eine der fünf Scheiben in Rotation versetzt wurde, so erschien auf dem Projektionsschirm das Bild des Diapositivs sukzessive und periodisch durch lichtleere Intervalle unterbrochen. Die Erscheinungs- und Verschwindungszeiten ergaben sich aus der gewählten Scheibe und ihrer am Tourenzähler ablesbaren Umdrehungsgeschwindigkeit.

Jede Scheibe wurde nun zunächst langsam, dann schneller und schließlich so schnell in Rotation versetzt, daß das Flimmern des Bildes auf dem Schirm aufhörte. Die halbe Umdrehungsdauer der Scheiben in dem Fall, wo gerade Verschmelzung eintrat, war jeweils gleich der kritischen Periodendauer (*kt*). In den folgenden Tabellen stelle ich die Werte von *kt* für die einzelnen Scheiben zusammen.

Tabelle 7.

Beobachter: Marbe.

Relative Dauer des		*kt*
ausgeschnittenen Sektors	geschlossenen Sektors	
1	7	40
1	3	34
1	1	32
3	1	35
7	1	43

Tabelle 8.

Beobachter: Dr. PETERS.

Relative Dauer des		kt
ausgeschnittenen Sektors	geschlossenen Sektors	
1	7	40
1	3	37
1	1	32
3	1	38
7	1	53

In diesen Tabellen ist die kritische Periodendauer (kt) wieder, wie in allen Tabellen der vorliegenden Schrift, in tausendstel Sekunden (σ) angegeben. Die Tabellen zeigen, daß die kürzeste kritische Periodendauer erforderlich ist, wenn der ausgeschnittene und geschlossene Sektor gleich groß sind, also die Bild- und Verdunklungsphase gleich lang dauert; je mehr das Verhältnis der Dauern der Bild- und Verdunklungsphase von 1 abweicht, je kleiner also v wird, desto größer ist kt, desto leichter tritt also Verschmelzung ein, desto früher hört das Flimmern auf. Andererseits sehen wir, daß es für die Verschmelzung vorteilhafter ist, daß also kt größer wird, wenn der ausgeschnittene Sektor größer ist als der geschlossene, wenn also m steigt. (Vgl. Zeile 1 und 5, mit Zeile 2 und 4 der Tabellen.) Die Versuche zeigten also, daß die Verminderung von v und die Vergrößerung von m die Verschmelzung befördert; sie enthalten natürlich auch das Resultat, daß die Verkleinerung von t für die Verschmelzung günstig ist. Wir haben demnach experimentell bewiesen, daß auch für den Fall, wo bei kinematographischen Darstellungen ein Bild sukzessive und periodisch mit einem dunkeln Intervall wechselt, die Verminderung von t und v und die

Vergrößerung von m die Verschmelzung des Bildes als Ganzes betrachtet begünstigt.

Wenn wir bei einer rotierenden Scheibe gleichzeitig v und m vergrößern, indem wir die Scheibe stärker beleuchten, so wird das Flimmern mit zunehmender Beleuchtung deutlicher.[1]) Der Einfluß von v überwiegt also hier über den Einfluß von m. Daher wird auch, wenn wir beim Kinematographen dasselbe Bild sukzessive und periodisch wiederkehren lassen, das Flimmern um so deutlicher werden müssen, je heller das Bild ist. Die kritische Periodendauer wird also mit zunehmender Intensität des Bildes abnehmen. Um mich von diesem Sachverhalt zu überzeugen, verfuhr ich folgendermaßen.

Ich stellte bei K (vgl. Fig. 23) einen Kinematographen auf, dessen Rotationsgeschwindigkeit durch einen Tourenzähler T bestimmt werden konnte. Der Kinematograph

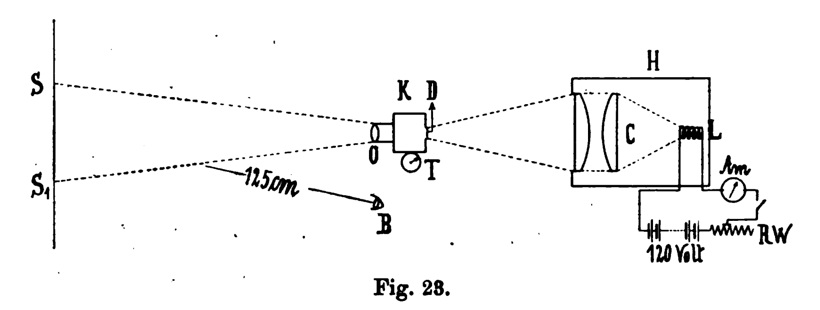


Fig. 23.

projizierte wieder mittels eines Objektivs O das in der Bildebene angebrachte feststehende kleine Diapositiv D auf den Projektionsschirm SS_1 in der angeführten Größe 25 : 30 cm. Die Beleuchtung des Diapositivs D erfolgte von der Lichtquelle L aus durch den Kondensor C, die beide in einem lichtdichten Kasten H eingeschlossen waren. Durch den

[1]) Vgl. S. 32 der vorliegenden Schrift.

Mechanismus des Kinematographen wurde das Bild auf dem Schirm sukzessive und periodisch verdunkelt. Als Lichtquelle diente wiederum eine Focusglühlampe, deren Lichtstärke mittels des Widerstandes *R W* reguliert und durch das Amperemeter *Am* eindeutig bestimmt werden konnte. Ich suchte dann für verschiedene Lichtstärken die kritische Periodendauer. Diese Versuche führten zu den beiden folgenden Tabellen.

Tabelle 9.

Beobachter: Marbe.

Lichtstärke (Ausschlag des Amperemeters)	Kritische Dauer einer Periode (*kt*)
2,8	38
3,2	29
4,8	23

Tabelle 10.

Beobachter: Dr. Seddig.

Lichtstärke (Ausschlag des Amperemeters)	Kritische Dauer einer Periode (*kt*)
2,8	34
3,2	25
4,8	23

Diese Tabellen lehren, daß mit wachsender Stromstärke im Glühlampenkreis, also mit wachsender Intensität der sukzessive und periodisch projizierten Bilder *kt* abnimmt, was freilich von vorneherein zu erwarten war.

Wir haben bisher den Fall erörtert, wo beim Kinematographen sukzessive und periodisch ein Bild erscheint und wieder verschwindet. Wir sahen, daß für die einzelnen Partialbilder, aus denen die konstante Wahrnehmung des Bildes im

Verschmelzungsfall besteht, das TALBOTsche Gesetz gelten muß und daß die Verschmelzung eines jeden noch nicht homogenen Partialbildes durch die Verminderung von *t*, *v* und die Vergrößerung von *m* gefördert werden muß. Wir wiesen auch experimentell nach, daß für die Verschmelzung eines kinematographisch erzeugten Bildes, sofern es als ein Ganzes betrachtet wird, der Einfluß von *t*, *v* und *m* sich in gleicher Weise wie bei rotierenden Scheiben geltend macht. Alle diese Tatsachen ließen sich ohne weiteres a priori deduzieren. Denn die mittels rotierender Scheiben festgestellten und von uns theoretisch begründeten allgemeinen Tatsachen können natürlich in dem speziellen Fall keine Einbuße erleiden, wo die verschmelzenden Flächen Bilder oder Teile von Bildern sind.

Diese Ergebnisse haben nun offenbar nicht nur eine Bedeutung für die seltenen Fälle, wo in der kinematographischen Praxis dasselbe Bild immer wiederkehrt, wie bei Titeln von Szenen und dergl. Sie gelten auch für die bei scheinbaren Bewegungen konstant bleibenden Hintergründe und überhaupt für diejenigen Teile der kinematographisch erzeugten Projektionen, welche unbewegte Gegenstände darstellen. Diese Tatsachen sind aber nicht ausreichend, um eine Theorie des Kinematographen zu begründen. Soweit der Kinematograph Projektionen von scheinbaren Bewegungen darstellt, beruhen diese auf allgemeinen Gesetzen der Bewegungswahrnehmung, die jetzt erörtert werden sollen.

Über die Bedeutung der Periodenelemente für den Kinematographen werden wir erst im § 14 handeln.

---

§ 12. Zur Lehre vom Bewegungssehen.

a) Allgemeine Bemerkungen.

Die Bemerkungen, welche in diesem Paragraphen mitgeteilt werden sollen, beziehen sich nicht nur auf den Kinematographen; sie bilden vielmehr einen Ausschnitt aus der Lehre vom Sehen der Bewegungen in der Natur und im Leben.

Das Wahrnehmen von Bewegungen ist von verschiedenen Umständen abhängig. Ein bewegtes Objekt erscheint z. B. schneller bewegt, wenn es an dem ruhenden Auge vorbeizieht, als wenn wir ihm mit dem Blicke folgen. Bewegungen von Objekten werden schwerer bemerkt, wenn die Objekte mit den Seitenteilen der Netzhaut wahrgenommen werden, als wenn wir sie fixieren.[1]

Die Wahrnehmung von Bewegungen ist auch wesentlich abhängig von der Geschwindigkeit der Bewegungen. Das Wort Geschwindigkeit bezieht sich hier, wie allenthalben bei der Lehre von der Bewegungswahrnehmung, auf die sogenannte Winkelgeschwindigkeit. Diese wird gemessen durch die Größe des von einem Radiusvektor in der Zeiteinheit bestrichenen Winkels, wobei der Radiusvektor vom Beobachter ausgehend zu denken ist. Damit die Bewegung eines Gegen-

---

[1] Vgl. ZOTH in NAGELS Handbuch der Physiologie des Menschen, Bd. 3, S. 366, 1905.

standes als solche bemerkt wird, muß derselbe eine gewisse Minimalgeschwindigkeit haben. Wenn die Geschwindigkeit andererseits eine gewisse obere Grenze erreicht hat, hören wir auf, die Richtung und überhaupt die Tatsache der Bewegung wahrzunehmen. Wir bemerken dann aber noch, daß im Gesichtsfeld eine Änderung vorgegangen ist. Bei noch größeren Geschwindigkeiten nehmen wir auch dies nicht mehr wahr.[1])

Wenn sich nun ein Gegenstand sehr langsam aber mit einer Geschwindigkeit bewegt, welche die oben erwähnte (nach AUBERT[2]) pro Sekunde 1—2 Winkelminuten betragende Minimalgeschwindigkeit übersteigt, so können wir denselben mit den Augen verfolgen, indem wir ihn fixieren. Das Bild des Gegenstandes fällt dann immer auf dieselbe Netzhautstelle.

In gewissen Fällen jedoch folgt das Auge bewegten Gegenständen nicht, so z. B. wenn wir in der Nähe des bewegten Uhrpendels einen festen Punkt fixieren. Wenn sich nun ein Gegenstand im Gesichtsfeld des ruhenden Auges bewegt, so geht unmittelbar hinter ihm der sogenannte Nachbildstreifen her. Dieser Nachbildstreifen ist keine physikalische, sondern eine physiologisch bedingte psychologische Erscheinung, welche mit dem oben (§ 8) erwähnten Ab- und Anklingen der Empfindung zusammenhängt. Bewegt sich ein helles Objekt auf dunklem Grund, so wird jeder Punkt der Bahn des Objekts und daher jeder Punkt der Netzhautlinie, welche dieser Bahn entspricht, sukzessive durch das Objekt erleuchtet. Hat das Objekt einen Punkt p der Bahn verlassen, so klingt die ihm entsprechende Empfindung nicht momentan, sondern (nachdem sie kurze Zeit in gleicher Stärke

---

[1]) Vgl. STERN, Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, Bd. 7, S. 322f., 1894.

[2]) AUBERT, PFLÜGERS Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 39, S. 353, 1886.

angedauert hat) allmählich ab. Je längere Zeit nun das Objekt den Punkt p bereits verlassen hat, desto mehr ist, im großen und ganzen betrachtet, das Abklingen fortgeschritten, bis schließlich eine Nachwirkung des erleuchteten Objekts im Punkte p überhaupt aufhört. In jedem Augenblick muß daher hinter dem Objekt ein Streifen sichtbar sein, dessen Helligkeit sich von derjenigen des Objekts entfernt, um schließlich in die Helligkeit des Grundes überzugehen. Analoges geschieht, wenn sich ein dunkler Gegenstand auf hellerem Grunde bewegt, nur daß dann der Nachbildstreifen nicht durch das allmähliche Abklingen, sondern vielmehr durch das allmähliche Anklingen zustande kommt, da die von dem bewegten Objekt eben verlassenen Punkte seiner Bahn in diesem Fall allmählich heller werden. Die Länge des Nachbildstreifens ist von der Geschwindigkeit abhängig, mit welcher sich das Objekt bewegt, die Deutlichkeit ist u. a. eine Funktion des Helligkeitsunterschiedes zwischen Objekt und Grund.

Im gewöhnlichen Leben fällt uns der Nachbildstreifen überhaupt nicht auf, und erst, wenn wir die Aufmerksamkeit besonders auf denselben richten, wird er bemerkt. Ganz besonders deutlich aber wird der Nachbildstreifen, wenn er nicht kontinuierlich, sondern unterbrochen ist, oder wenn seine Helligkeit in einzelnen Teilen wesentlich variiert. Dies Verhältnis ist gegeben, wenn wir etwa im Wechselstrombogenlicht unsern Spazierstock schnell bewegen und beobachten, ohne ihm mit den Augen zu folgen. Der Stock wird, da das Licht sukzessive und periodisch heller und dunkler wird, in gleichem Tempo erhellt und verdunkelt. Der Nachbildstreifen nimmt daher hier nicht kontinuierlich ab, sondern er erscheint sehr deutlich gegliedert: die helleren und dunkleren Stellen heben sich (offenbar infolge von Kontrastwirkung besonders deutlich) gegeneinander ab.

b) Über scheinbare Bewegungen ruhender Objekte.

Bisher war immer von bewegten Objekten die Rede, welche den Bewegungseindruck erzeugen. Dieser kann nun aber auch durch ruhende Objekte hervorgerufen werden, wenn dieselben sukzessive an verschiedenen Stellen des Raumes erscheinen. Um diese Tatsache näher zu studieren, habe ich 13 kleine elektrische Glühbirnen ($2^1/_2$-Volt-Osramlämpchen) benutzt.

Der Beobachter saß in einer Entfernung von 1 m vor einem hölzernen Kästchen von 26 cm Länge, 4 cm Breite und 3 cm Höhe (vgl. Fig. 24). Der ganz geschwärzte Innenraum des Kästchens war durch vertikale Scheidewände in 13 Fächer geteilt. In jedem Fach befand sich ein Lämpchen. Die dem Beobachter zugekehrte Wand des Kästchens hatte

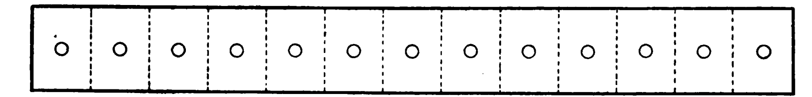


Fig. 24.

vor jedem Lämpchen einen kreisförmigen, mit Ölpapier beklebten Ausschnitt von 3 mm Durchmesser. Je zwei dieser Auschnitte waren (von Mitte zu Mitte gerechnet) 20 mm voneinander entfernt.

Durch einen rotierenden Kontakt, nämlich durch die von den Psychologen als „Zeitsinnapparat"[1]) bezeichnete Vorrichtung, konnten die Lämpchen nacheinander zum Aufleuchten gebracht werden. Je größer die in weiten Grenzen variierbare Rotationsgeschwindigkeit war, desto rascher folgte das Aufleuchten einer Lampe auf das der anderen. Das Intervall

[1]) S. Preisliste Nr. 20 über Psychologische und Physiologische Apparate von E. Zimmermann, Leipzig. S. 181, Nr. 1950.

zwischen dem Aufleuchten zweier Lämpchen konnte aus der Geschwindigkeit des rotierenden Kontaktes und der räumlichen Entfernung der Kontaktstellen bestimmt werden. Durch Entfernung einzelner Kontaktstellen aus dem Stromkreise konnte die Zahl der aufleuchtenden Lämpchen beliebig reduziert werden. Durch Widerstände mußte bei allen Versuchen dafür gesorgt werden, daß die Lämpchen nicht allzuhell leuchteten, da hierdurch störende Nachbilder entstehen. Der Beobachter folgte bei diesen Experimenten (von der größten Sukzessionsgeschwindigkeit der Reize abgesehen) der scheinbaren Bewegung unwillkürlich mit den Augen, ohne daß man natürlich behaupten darf, daß die Bewegungsgeschwindigkeit des Auges mit der des scheinbar bewegten Objektes immer genau korrespondierte.

Wenn die einzelnen Birnen ganz langsam der Reihe nach entzündet wurden, so erhielt ich keinen Bewegungseindruck. Wurde die Geschwindigkeit gesteigert, so bildete sich zunächst ein Bewegungseindruck besonderer Art. Ich glaubte eine Bewegung eines hellen Objektes, das sukzessive und periodisch verschwand, also die Bewegung eines diskontinuierlich wahrgenommenen Gegenstandes zu sehen. Bei abermaliger Steigerung der Geschwindigkeit des rotierenden Kontaktes schien die Sichtbarkeit des leuchtenden Objektes zwar nicht mehr unterbrochen, aber stoßweise vor sich zu gehen: ich sah eine Bewegung mit Haltepunkten. Wurde die Geschwindigkeit weiter vergrößert, dann trat der Eindruck einer kontinuierlichen gleichförmigen Bewegung auf. Bei abermaliger Steigerung der Geschwindigkeit schienen sich zwei oder mehrere, durch dunkle Zwischenräume getrennte helle Objekte hintereinander fortzubewegen. In diesem Fall war die Geschwindigkeit offenbar so groß, daß der Beobachter der scheinbaren Bewegung weniger gut als bei den früheren Versuchen folgen konnte, und das Abklingen eines Reizes noch nicht

kerzigen mit Gleichstrom gespeisten Glühlampe G in etwa natürlicher Größe. Vor der Linse bewegt sich eine Verschlußscheibe VV_1, die auf der Achse eines Elektromotors sitzt. Die Scheibe ist in Fig. 26 in Aufsicht abgebildet; sie enthält 24 radial verlaufende Schlitze, die bei ihrem Vorbeipassieren Lichtblitze durch die projizierende Linse hindurchlassen, so daß auf dem Schirme sukzessive einzelne Bilder der Glühlampe entstehen. Bewegten wir nun mit der Hand die Glühlampe wagrecht in der Richtung RR_1 hin und her, so bewegte sich auch das Bild auf dem Schirm SS_1 hin und her.

War die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe so groß, daß auf dem Schirm ca. 150 Einzelbilder in der Sekunde erschienen, und bewegten wir die Glühlampe mit der Hand so schnell hin und her als irgend möglich, so sah man auf dem Schirm das Bild des bewegten Glühfadens, jedoch nicht einfach, sondern aus einer ganzen Reihe von parallelen leuchtenden Fäden bestehend. Dieses Zerfallen des bewegten Glühlampenbildes in getrennte Bilder blieb jedoch aus, als wir (bei ungefähr gleicher Bewegungsgeschwindigkeit der Lampe) der Scheibe eine außerordentlich große Umdrehungsgeschwindigkeit gaben, sodaß ca. 800 Bilder pro Sekunde zur Erscheinung kamen.

Der Grund dafür, daß bei dem letzten Versuch das Glühlampenbild stets kontinuierlich blieb, liegt wohl darin, daß bei der großen Sukzessionsgeschwindigkeit der einzelnen Lichtblitze immer nur ganz nahe benachbarte Phasen auf dem Schirm SS_1 entworfen wurden, die sich nahezu vollständig überdeckten, so daß das Auge der scheinbaren Bewegung verhältnismäßig leicht folgen konnte. Bei dem zuerst beschriebenen Versuch mit ca. 150 Bildern in der Sekunde lagen die einzelnen Phasen offenbar so weit auseinander, daß das Auge ihnen schlechter folgen konnte, weshalb sie auf gänzlich verschiedene Netzhautstellen fielen; infolgedessen

waren beim ersten Versuch eine ganze Reihe von Phasen noch nicht vollständig abgeklungen, als eine neue eintrat.

Diese Versuche lehren offenbar, daß auch äußerst große Sukzessionsgeschwindigkeiten zulässig sind, wenn die Phasen einander nur räumlich genügend nahe liegen. Wir müssen also jetzt zusammenfassend sagen:

Die Bewegung muß so schnell sein, daß ein ungestörter, ununterbrochener und nicht stoßweise erscheinender Bewegungseindruck auftritt, aber nicht so schnell, daß mehrere Bilder gleichzeitig erscheinen. Doch darf die Bewegungsgeschwindigkeit beliebig gesteigert werden, wenn die Phasen einander räumlich genügend nahe treten, da hierdurch das gleichzeitige Sehen mehrerer getrennter Phasen ausgeschlossen wird.

Die räumliche Nähe bzw. Entfernung der einzelnen Phasen ist nun nicht nur dafür maßgebend, ob wir gleichzeitig nur ein Bild oder mehrere sehen; sie ist vielmehr auch von Einfluß auf das Zustandekommen des Bewegungseindruckes als solchen. Unsere Versuche über die Abhängigkeit des Bewegungseindruckes von der räumlichen Entfernung der Phasen wurden wieder mit den oben erwähnten kleinen Glühlampen angestellt.

Ließ ich die Lämpchen bei einem Zeitintervall von 180 σ sukzessive aufleuchten, dann bekam ich den deutlichen Eindruck einer ungestörten, nicht stoßweise verlaufenden Bewegung. Wenn nun bei übrigens gleicher Einstellung des Apparates nur das 1., 3., 5., 7., 9., 11. und 13. Lämpchen erleuchtet wurde, so erschien die Bewegung schon etwas zerhackt. Dies war noch mehr der Fall, wenn nur das 1., 4., 7., 10. und 13. Lämpchen erleuchtet wurde. Der zerhackte Charakter der Bewegung wurde noch deutlicher, als nur das 1., 5., 9. und 13. Lämpchen benutzt wurde. Das bewegte

helle Objekt wurde jetzt nur mehr diskontinuierlich gesehen, die Bewegung schien durch dunkle Zwischenräume unterbrochen.

Wurde nur mit dem 1., 6. und 11. Lämpchen gearbeitet, so trat der Bewegungseindruck zurück: man sah drei aufeinanderfolgende, räumlich getrennte Lichterscheinungen, ohne den Zwang zu empfinden, sie als Phasen einer Bewegung aufzufassen. — Wurde nur das 1. und 11. Lämpchen zum Aufleuchten gebracht, so sah man nacheinander zwei helle Objekte, ohne eine Spur von Bewegungseindruck dabei zu haben.

Man möchte nun vielleicht glauben, daß das Aufhören des Bewegungseindruckes bei Verwendung des 1. und 11. Lämpchens damit zusammenhängt, daß nur zwei Reize zur Verwendung kamen, und annehmen, daß der Bewegungseindruck nur bei einer Mehrheit von sukzessive ruhenden Reizen auftritt. Das ist jedoch durchaus nicht der Fall. Verwandte ich unter im übrigen gleichen Versuchsbedingungen nur das 1. und 6. Lämpchen, so glaubte ich wieder den Eindruck einer, allerdings unterbrochenen, Bewegung zu haben, ebenso bei der Verwendung des 1. und 5. Lämpchens. Der Bewegungseindruck wurde um so deutlicher, je näher die beiden benützten Lämpchen nebeneinander lagen.

Auch diese Versuche wurden durch selbständige Beobachtungen des Herrn Dr. PETERS bestätigt.

Um demnach aus nacheinander sichtbaren Bildern oder Phasen einen ungestörten Bewegungseindruck zu erhalten, müssen die einzelnen Bilder räumlich genügend nahe aneinander liegen.

Die bisher beschriebenen Versuche über das Sehen von Bewegungen an sukzessive aufleuchtenden Reizen wurden so ausgeführt, daß der Beobachter mit dem Auge der scheinbaren Bewegung des hellen Objektes unwillkürlich folgte,

soweit dies möglich war. In einer anderen Versuchsreihe ließ ich den Beobachter ein andauernd sichtbares, schwaches Licht mit dem Auge fixieren, das über der Reihe der sukzessiv aufleuchtenden Lämpchen angebracht war. Die Beobachtung geschah also jetzt mit ruhendem Blick. Die Entfernung des Beobachters von dem Kästchen, das die Lämpchen enthielt, betrug bei diesen Versuchen ca. 5 m. Die Resultate, die ich erhielt, sind qualitativ nicht von denen der früheren Versuche verschieden. Es zeigte sich nur, daß die Intervalle, die zwischen dem Aufleuchten zweier benachbarter Lämpchen liegen mußten, um einen der oben beschriebenen Bewegungseindrücke hervorzurufen, deutlich kürzer sein mußten als in den Versuchen, in denen der Blick das scheinbar bewegte Objekt verfolgte. So trat für Herrn Dr. Peters bei bewegtem Blick der Eindruck der stoßweisen Bewegung mit unterbrochener Sichtbarkeit des Objektes in diesen Versuchen bei einem Zeitintervall von 1267 σ auf, bei fixiertem Blicke aber erst bei einem Zeitintervall von 383 σ. Die stoßweise Bewegung bei dauernder Sichtbarkeit des Objektes sah er mit bewegtem Blick bei 267 σ, mit fixiertem Blick bei 183 σ.

Es ist also offenbar für das Auftreten des Bewegungseindruckes günstiger, wenn das Auge sich in der Richtung der sukzessive erleuchteten Objekte bewegt, als wenn es andauernd einen Punkt fixiert.

Bei allen Versuchen mit den Lämpchen hatte der Beobachter lediglich die Aufgabe, festzustellen, ob und wie der Bewegungseindruck vorhanden war. Bei den Beobachtungen mit bewegtem Auge zeigte nun das scheinbar bewegte Objekt ein mehr oder weniger deutliches Flimmern. Es ist klar, daß, wenn das Auge der scheinbaren Bewegung des Objektes folgt, für das Verschwinden dieses Flimmerns die Sätze über den Einfluß von t, v und m in Betracht kommen; auch muß die Helligkeit des scheinbar bewegten Objektes im Fall, daß

dasselbe zu flimmern aufhört, durch das Talbotsche Gesetz im engeren Sinne bestimmt sein. Denn offenbar kann es für die Tatsachen der Verschmelzung nicht von Belang sein, ob wir das Auge bewegen oder nicht, wofern nur die sukzessiv-periodischen Reize immer auf dieselbe Netzhautstelle fallen. Daß in der Tat für bewegte, in ihrer Intensität variierende Objekte die Veränderung von v, t und m sich in gleicher Weise geltend macht wie für ruhende, davon habe ich mich durch einige Experimente mittels einer anderen Versuchsanordnung überzeugt (vgl. Fig. 27).

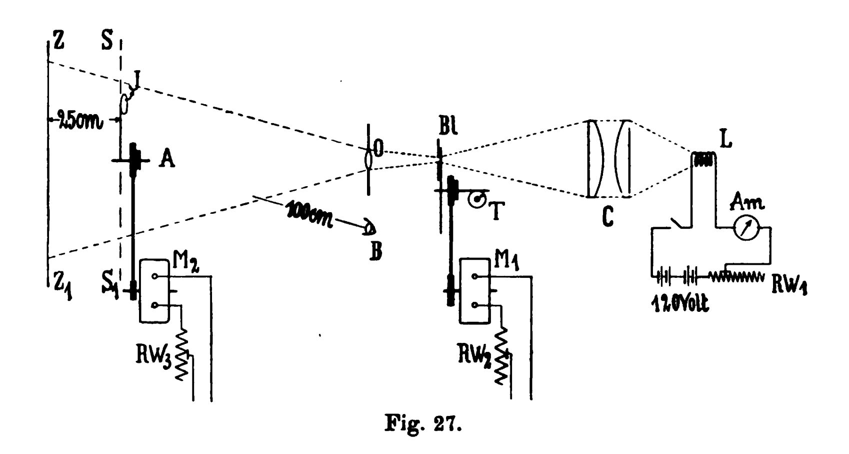


Fig. 27.

Eine Focusglühlampe L sandte durch den Kondensor C die Blende Bl und das Objektiv O derart ihr Licht aus, daß sie, falls in der Ebene $S\ S_1$ ein Schirm aufgestellt worden wäre, diesen gleichmäßig beleuchtet hätte. In dieser Ebene $S\ S_1$ rotierte ein an einem dünnen mattschwarzen Draht von 20 cm Länge angebrachte weiße Scheibe J von 4,5 cm Durchmesser um die Achse A, die von dem Motor M_2 angetrieben wurde. 25 cm hinter der rotierenden Scheibe J war ein mattschwarzer Hintergrund $Z\ Z_1$ aufgestellt. Vor der Blendenöffnung rotierten die Ausschnitte einer Sektorenscheibe, die

vom Motor M_1 angetrieben wurde und deren Tourenzahl durch den Zähler T bestimmbar war. Zur Verwendung kamen wieder die fünf oben abgebildeten Scheiben (Figg. 18—22). Der Regulierwiderstand RW_1 regulierte die Helligkeit der Focusglühlampe L, deren Lichtstärke mit Hilfe des auf 4,8 Ampere eingestellten Amperemeters Am immer konstant gehalten wurde. Die Widerstände RW_2 und RW_3 regulierten die Tourenzahlen der Motoren M_1 und M_2. Die Umdrehungsdauer der weißen Scheibe betrug ca. 2 Sekunden. Der Beobachter hatte die Aufgabe, die kleine Scheibe während der Bewegung und zwar jeweils während einer Umdrehung mit den Augen zu verfolgen; das Auge (B) war 1 m von dieser Scheibe entfernt. Die rotierende Sektorenscheibe wurde nun zunächst in langsame Rotation versetzt, so daß das Scheibchen J deutlich flimmerte. Nachdem der Beobachter während einer Umdrehung des Scheibchens dieses mit den Augen verfolgt hatte, gab er sein Urteil ab. Die Rotationsgeschwindigkeit der Sektorenscheibe wurde dann so lange vergrößert, bis der Beobachter ein Flimmern des Scheibchens nicht mehr wahrnahm. Die kritischen Periodendauern konnten dann ebenso wie für die Tabellen 7 und 8 berechnet werden. Die Resultate dieser Versuche teile ich in folgender Tabelle mit.

Tabelle 11.

Beobachter: Dr. PETERS.

Relative Dauer des		Kritische Periodendauer (kt)
ausgeschnittenen Sektors	geschlossenen Sektors	
1	7	58
1	3	52
1	1	42
3	1	62
7	1	68

Diese Tabelle zeigt in der Tat, daß auch, wenn wir einen periodisch in seiner Helligkeit variierenden Gegenstand mit den Augen verfolgen, die Verschmelzung die kleinste Periodendauer erfordert, wenn *v* am größten ist (Verhältnis der Sektoren 1 : 1). Je kleiner *v* wird (also bei den Scheiben mit den Ausschnitten 1 und 3 bzw. 3 und 1 und noch mehr bei den Scheiben mit den Ausschnitten 1 und 7 bzw. 7 und 1), desto größer wird die kritische Periodendauer, desto leichter tritt also Verschmelzung ein. Vergleichen wir *kt* für die Scheiben mit den Ausschnitten 1 und 7 bzw. 1 und 3 einerseits mit *kt* für die Scheiben 7 und 1 bzw. 3 und 1, so sehen wir, daß *kt* um so größer ist, je größer der ausgeschnittene (offene) Sektor ist, daß also auch hier die Vergrößerung von *m* die Verschmelzung befördert.

Bei den oben beschriebenen Lämpchenversuchen, wo das Auge der scheinbaren Bewegung nicht folgte, sondern einen festen Punkt fixierte, war es für die Beobachter (Dr. PETERS und Verfasser) schwer, sich über das Flimmern des scheinbar bewegten Objektes zu äußern. Denn es ist ganz allgemein schwierig, einen bestimmten Gegenstand zu fixieren und die Aufmerksamkeit auf einen anderen zu lenken. Aber auch hier hatten wir den Eindruck, daß der scheinbar bewegte Punkt mehr oder weniger deutlich flimmere.

Bei diesen Experimenten werden eine ganze Reihe nebeneinanderliegender, durch Zwischenräume getrennter Netzhautstellen nacheinander gereizt. An jeder Netzhautstelle klingt daher die Empfindung zunächst an, um sogleich wieder abzuklingen. Möglicherweise hängt hiermit die Unruhe im scheinbar bewegten Objekt, die wir als Flimmern bezeichnen, zusammen. Die Tatsachen des TALBOTschen Gesetzes können für diesen Fall, wo es sich nicht um sukzessiv-periodische Reizung derselben Netzhautstelle handelt, nicht in Betracht kommen.

c) Theorie der scheinbaren Bewegungen ruhender Objekte.

Wie ist es möglich, daß wir eine Bewegung vor uns zu haben glauben, wenn tatsächlich nur ruhende Bilder sukzessive an verschiedenen Stellen des Raumes erscheinen?

Um diese Frage zu beantworten, müssen wir von tatsächlich bewegten Gegenständen ausgehen. Wir sahen im Abschnitt a) dieses Paragraphen, daß wir eine Bewegung wahrnehmen, wenn sich ein Objekt tatsächlich bewegt, dessen Geschwindigkeit weder zu groß noch zu klein ist. Dürr[1]) hat nun gezeigt, daß ein ziemlich großer Abschnitt einer Bewegung objektiv verschwinden kann, ohne daß wir die Unterbrechung der Bewegung bemerken. Wenn wir z. B. ein kleines Glühlämpchen in 4 m Entfernung vom Beobachter im Dunkeln bewegen und wenn wir dabei das Lämpchen hinter einem Schirmchen von 30 mm Breite vorbeiführen, so wird diese Unterbrechung gar nicht bemerkt, wofern nur die Bewegungsgeschwindigkeit des Lämpchens genügend groß ist. Diese Tatsache ist nun zwar von Dürr nur für den Fall festgestellt worden, in welchem wir dem Lämpchen mit dem Auge folgen; sie gilt aber auch für das ruhende Auge, wofern nur die Entfernung des Beobachters von dem Lämpchen genügend groß ist.

Herr Dr. Peters und ich ließen eines der oben erwähnten $2\,^1/_2$-Volt-Osramlämpchen, dessen Lichtstärke durch Widerstände stark herabgesetzt war, mittels der von Dürr benutzten Anordnung rotieren. Wir ließen das Lämpchen hinter einem Schirmchen von 6 mm Breite vorbei passieren. Etwas oberhalb der Stelle, hinter welcher sich das Lämpchen vorbei bewegte, trug das Schirmchen einen kleinen Fleck aus

[1]) Philosophische Studien, Bd. 15, S. 518 ff., 1900.

Leuchtfarbe, den wir fixierten. Bei einer Entfernung von $4 \frac{1}{2}$ m vom Schirmchen konnten wir eine Unterbrechung der gesehenen Bewegung nicht mehr bemerken, wenn die Bewegungsgeschwindigkeit des Lämpchens 7,2 m in der Sekunde betrug. Eine Reihe anderer Versuche mit kleineren Schirmchen und anderen Bewegungsgeschwindigkeiten des Lämpchens führten zu demselben Resultat.

Wir können also allgemein sagen: Es kann ein Abschnitt einer Bewegung ausfallen, ohne daß wir es bemerken, wenn der Abschnitt genügend klein und die Geschwindigkeit der Bewegung des Objektes genügend groß ist. Ob diese Tatsachen durch periphere, d. h. in dem Sinnesorgan begründete Umstände, oder durch zentrale, d. h. im Gehirn sich abspielende physiologische Prozesse begründet ist, soll hier nicht erörtert werden.

Unsere Versuche mit den 13 Lämpchen können nun so aufgefaßt werden, als bewege sich ein Lämpchen, welches nur in 13 Phasen sichtbar ist, während es in den zwischen diesen 13 Phasen liegenden 12 Zwischenzeiten verschwindet. Unsere Versuche mit den 13 Lämpchen und demnach alle Fälle, wo aus ruhenden Reizen subjektive Bewegungen resultieren, können also als unterbrochene Bewegungen spezieller Art aufgefaßt werden. Daß bei solchen Versuchen, wie die Ergebnisse mit den 13 Lämpchen zeigen, die sukzessiven Reize weder räumlich noch zeitlich zu weit auseinander liegen dürfen, stimmt durchaus mit dem Ergebnis von Dürr überein, demzufolge die Breite des Schirmchens genügend klein und die Bewegungsgeschwindigkeit des Objektes genügend groß, also die Dauer der Unterbrechung genügend kurz sein muß, wenn die Unterbrechung nicht bemerkt werden soll.

---

§ 13. Bedeutung einiger Tatsachen des Bewegungssehens für den Kinematographen.

Wir haben im Abschnitt b) des § 12 u. a. den Fall behandelt, wo wir mit ruhendem Auge eine scheinbare Bewegung wahrnehmen, die aus ruhenden sukzessive erscheinenden Bildern resultiert.

Dieser Fall scheint mir für den Kinematographen von untergeordneter Bedeutung zu sein. Denn das Auge pflegt einerseits gesehenen und daher auch nur scheinbaren Bewegungen reflektorisch zu folgen, und andererseits pflegen wir Bewegungen, denen wir mit den Augen nicht folgen, keine Aufmerksamkeit beizulegen.

Von großer Bedeutung für den Kinematographen sind dagegen die Fälle, wo das Auge die scheinbare Bewegung begleitet. Wir sahen nun zunächst, daß, wenn wir scheinbare Bewegungen aus sukzessiven Reizen herstellen wollen, die Sukzessionsgeschwindigkeit der Reize mindestens so groß sein muß, daß ein ungestörter Bewegungseindruck entsteht. Sie darf aber nicht so groß sein, daß mehrere Bilder gleichzeitig gesehen werden. Doch kann sie beliebig gesteigert werden, wenn die Phasen einander räumlich genügend nahe liegen, da hierdurch das gleichzeitige Sehen mehrerer Phasen ausgeschlossen wird.

Wir sahen weiterhin, daß auch im Interesse des ungestörten Bewegungseindruckes als solchen die einzelnen ruhenden Bilder möglichst nahe beieinander liegen müssen.

Hieraus ergibt sich für den Kinematographen, daß die Häufung der zu projizierenden Phasen einer Bewegung unbedingt vorteilhaft bzw. zulässig ist. Um möglichst viele Phasen eines Bewegungsvorganges zu erhalten, müssen wir bei der photographischen Aufnahme natürlich möglichst viele Bilder zu gewinnen suchen. Die Beschleunigung der Ablaufgeschwindigkeit des Kinematographen liegt gleichfalls im Interesse guter Vorführungen, jedoch nur insoweit, als dadurch nicht mehrere Phasen gleichzeitig sichtbar werden. Letzteres wird bei beliebig großer Ablaufgeschwindigkeit vermieden, wenn die Phasen einander räumlich genügend nahe liegen, d. h. wenn wir genügend viele Phasen eines Bewegungsvorganges zur Projektion bringen. Daß natürlich infolge der Vergrößerung der Ablaufgeschwindigkeit die Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegungen größer wird und daß dies für die Deutlichkeit der Wirkung hinderlich sein kann, liegt auf der Hand.

Wir sahen im vorigen Paragraphen auch, daß für die scheinbar bewegten, aus ruhenden Reizen resultierenden, mit den Augen verfolgten Bilder das TALBOTsche Gesetz gilt, und daß es für die Vermeidung des Flimmerns vorteilhaft ist, t und v möglichst klein zu machen und m möglichst zu vergrößern. Daß die Verminderung von t und v und die Vergrößerung von m für den kinematographischen Effekt vorteilhaft ist, wurde schon oben, S. 53, erwähnt, da diese Gesichtspunkte auch für die Vermeidung des Flimmerns bei Hintergründen und überhaupt bei Bildern oder Teilen von Bildern gelten, die dem Zuschauer unbewegt erscheinen sollen.

---

§ 14. Anwendung unserer Ergebnisse auf die Technik.

Wir fassen zunächst aus den §§ 11 und 13 die Forderungen zusammen, die man nach unseren experimentellen und theoretischen Darlegungen an einen Kinematographen stellen muß, indem wir uns aus äußeren Gründen einer anderen Reihenfolge bedienen als bisher.

1. Um das Flimmern bei ruhend erscheinenden Objekten und bei bewegt erscheinenden Objekten möglichst zu vermindern bzw. aufzuheben, muß t und v möglichst reduziert, und m möglichst groß gemacht werden.

2. Um zerhackte und stoßweise erscheinende Bewegungen zu vermeiden, müssen die sukzessive projizierten Bilder schnell aufeinander folgen;[1] um das gleichzeitige Sehen von aufeinanderfolgenden Bildphasen zu vermeiden, dürfen wir die Sukzessionsgeschwindigkeit nur insoweit beliebig steigern, als diese Steigerung durch genügende räumliche Annäherung der Phasen kompensiert wird.

3. Die Ungestörtheit der scheinbaren Bewegungen wird allgemein dadurch gefördert, daß die sukzessiven Bilder räumlich möglichst nahe beieinander liegen, daß also bei der photographischen Aufnahme möglichst viele Bilder gewonnen werden.

Um nun einen vollkommenen Effekt mit kinematographi-

---

[1]) Jenkin, The Phot. Times, 1896, p. 449 und Maskelyne (vgl. Eder, Jahrbuch der Photographie und Reproduktionstechnik, 1909, S. 17) haben Apparate konstruiert, die mittels kontinuierlich laufender Films eine große Anzahl von Bildern in der Sekunde zu projizieren gestatten.

schen Projektionen zu erzielen, ist es natürlich nicht ausreichend, wenn diese Regeln befolgt werden. Es kommt noch auf sehr viele andere Dinge an. So ist es z. B. selbstverständlich, daß der kinematographische Eindruck gestört wird, wenn die sukzessiven Bilder durch Erschütterungen des Projektionsapparates auf verschiedene Stellen des Schirmes fallen, wodurch das „Vibrieren und Tanzen“ der Bilder entsteht. Das „Flickern“ der Bilder rührt von zerkratzten und schlechten Films her usw. usw.[1]) Die Besprechung solcher rein technischen Fragen ist nicht Aufgabe dieser Schrift.[1]) Aber zu den unter 1, 2 und 3 aufgestellten Forderungen müssen wir noch einige Bemerkungen machen.

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß die Vergrößerung von m, wie sehr sie das Flimmern vermindert oder aufhebt, doch nicht unbegrenzt und unter allen Umständen für den kinematographischen Effekt vorteilhaft ist. Man ist z. B. auf die Idee gekommen, die Zwischenpausen zwischen den einzelnen projizierten Bildern nicht wie üblich dunkel, sondern hell zu halten, um dadurch m zu vergrößern und das Flimmern zu beseitigen.[2]) Dies ist aber höchstens innerhalb gewisser Grenzen statthaft. Denn je heller wir die Zwischenpausen machen, desto weniger heben sich die gesehenen Bilder von dem hellen Schirme ab und desto undeutlicher müssen sie daher erscheinen. Daß die Vergrößerung von m, die durch Verstärkung der Beleuchtung herbeigeführt wird, mit einer Vergrößerung von v einhergeht, deren Einfluß auf das Flimmerphänomen bedeutsamer ist als der Einfluß von m, daß also eine Vergrößerung von m durch Verstärkung der Beleuchtung im Interesse der Vermeidung des Flimmerns unzulässig ist,

---

[1]) Vgl. Liesegang, Handbuch der praktischen Kinematographie, Leipzig 1908, S. 240ff.

[2]) Vgl. hierzu Liesegang, S. 42ff.

das haben wir schon oben (§ 7) betont. Wenn wir, wie in der kinematographischen Technik üblich, das Flimmern durch in den Strahlengang eingeschobene farbige Gläser usw. vermeiden, so erzielen wir diese Wirkung lediglich deshalb, weil durch diese Manipulation zwar *m*, aber auch *v* vermindert wird und weil die Verminderung von *v* gegen das Flimmern wirksamer ist als die Verminderung von *m*. Daß nach unseren technischen Erfahrungen große gleichmäßige Felder, wie etwa ein heller Himmel, besonders stark flimmern, steht mit unseren experimentellen Erfahrungen im besten Einklang (vgl. oben S. 32). Daß die Verkürzung des dunklen Intervalls, oder um einen technischen Ausdruck zu gebrauchen, die Verkleinerung der rotierenden Blende, das Flimmern vermindert,[1] liegt darin begründet, daß hierdurch die Differenz der Dauern der Reize vergrößert, also *v* vermindert wird. Wir könnten allerdings, soweit das Flimmern in Betracht kommt, aber nicht ohne die gesehenen Bilder wesentlich zu verdunkeln, den gleichen Effekt erzielen, wenn wir das dunkle Intervall sehr groß und die Bilddauer sehr kurz machten. Am deutlichsten muß nach unseren obigen experimentellen und theoretischen Darlegungen das Flimmern sein, wenn Bild und Pause genau gleich lang dauern, wie dies bei älteren Kinematographenmodellen der Fall war.

Da das Flimmern, wie wir sahen, überdies abhängig ist von dem Vorhandensein oder Fehlen großer gleichmäßiger Flächen (wie z. B. eines hellen Himmels), von der Helligkeit oder Dunkelheit des projizierten Bildes, welche die Größen *v* und *m* beeinflußt, und da es sich eben nicht nur um Vermeidung des Flimmerns handelt, sondern auch um Erzeugung ungestörter Bewegungseindrücke, so ist es unmöglich, allgemeine Regeln über die erforderliche Geschwindigkeit des

[1]) Liesegang, S. 39ff.

Ablaufens des Kinematographen zu geben. Dieselbe hängt durchaus von den jeweiligen Verhältnissen ab und es ist daher begreiflich und gerechtfertigt, wenn man in der Praxis in der Regel darauf verzichtet, den Kinematographen mittels eines Motors ablaufen zu lassen. Es ist ungleich vorteilhafter, denselben von Hand zu betätigen, wobei man nach Wunsch die Ablaufgeschwindigkeit beschleunigen und reduzieren kann.

Zur Beseitigung des Flimmerns hat man neuerdings versucht, das projizierte Bild mehrfach zu unterbrechen. Man benützt hierzu rotierende Scheiben, die als Blenden dienen und die sich jeweils einmal um ihre Achse drehen, während ein Bild sich in der Projektionsstellung befindet und durch ein neues ersetzt wird. Ich fand in Frankfurter Geschäften drei Apparattypen vor (ERNEMANN, kleineres Modell; ERNEMANN, größeres Modell, LIESEGANG), von deren Blenden ich in den folgenden Figuren schematische Abbildungen gebe. Die an der Peripherie mittels Kreisbogen begrenzten Sektoren stellen die undurchsichtigen Teile der Blende dar, die offenen lassen das Licht zur Projektion des Bildes hindurch. Die Zahlen bedeuten die Winkelgrößen der einzelnen Sektoren. Der nach unten zu liegende Sektor dient dazu, um den Bildwechsel zu verdecken, während die übrigen zur Unterbrechung des projizierten Bildes dienen.

Fig. 28. Fig. 29. Fig. 30.

Man sieht, daß die Figuren symmetrisch angeordnet sind. In Fig. 28 haben wir unten einen Sektor von 94°, oben einen Sektor von 40°. Zwischen beiden liegen symmetrisch zueinander je zwei Sektoren von 39,5° und zwei Sektoren von 73,5°. Die Figg. 29 und 30 zeigen analoge Symmetrie; daß die korrespondierenden Sektoren in Fig. 29 und Fig. 30 nicht ganz genau übereinstimmen, hängt wohl lediglich mit unbeabsichtigten Ungenauigkeiten zusammen. Wir wollen nun unter Ausgleichung dieser Ungenauigkeiten die Blenden der Apparate Ernemann, kleineres Modell; Ernemann, größeres Modell; und Liesegang in den Fig. 31—33 nochmals abbilden·

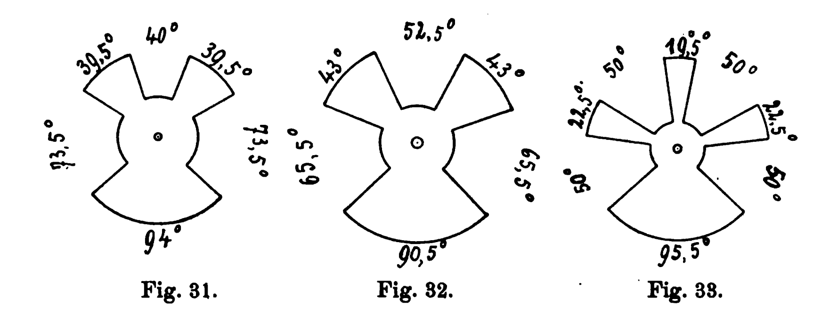


Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.

Würden die nach unten zu gerichteten ausgefüllten Sektoren (94°, 90,5°, 95,5°), welche den Bildwechsel zu verdecken haben, allein vorhanden sein, so würde das Bild nur einmal während einer Periode unterbrochen, während das Vorhandensein der übrigen zur Verdeckung dienenden Sektoren eine mehrfache Unterbrechung während einer Periode bewirkt.

Daß nun die mehrfache Unterbrechung für die Verschmelzung viel vorteilhafter sein muß, als die einmalige, ergibt sich ohne weiteres daraus, daß bei der mehrmals unterbrechenden Anordnung die Perioden in vier Periodenelemente mit besser übereinstimmenden m-Werten eingeteilt werden können als bei der während einer Periode nur einmal

unterbrechenden Anordnung. Daß dies wirklich der Fall ist, ergibt sich aus der Betrachtung der Scheiben Figg. 13a, 14a, 15a, die ich absichtlich dem Typus der drei hier besprochenen Apparate (Figg. 31—33) ganz genau nachgebildet habe (vgl. die Darlegungen des § 10).

Man hat auch versucht, das Flimmern des Kinematographen zu beseitigen oder zu vermindern durch Fächer, die aus einzelnen Stäben bestehen und die der Zuschauer vor den Augen hin und her bewegen muß. Auch hat ZOTH ein Rädchen mit ausgefüllten und leeren Sektoren konstruiert, welches jeder Zuschauer vor dem Auge in schnelle Rotation versetzen soll.[1])

Alle diese Anordnungen verbessern die Übereinstimmung der m-Werte der einzelnen Periodenelemente.

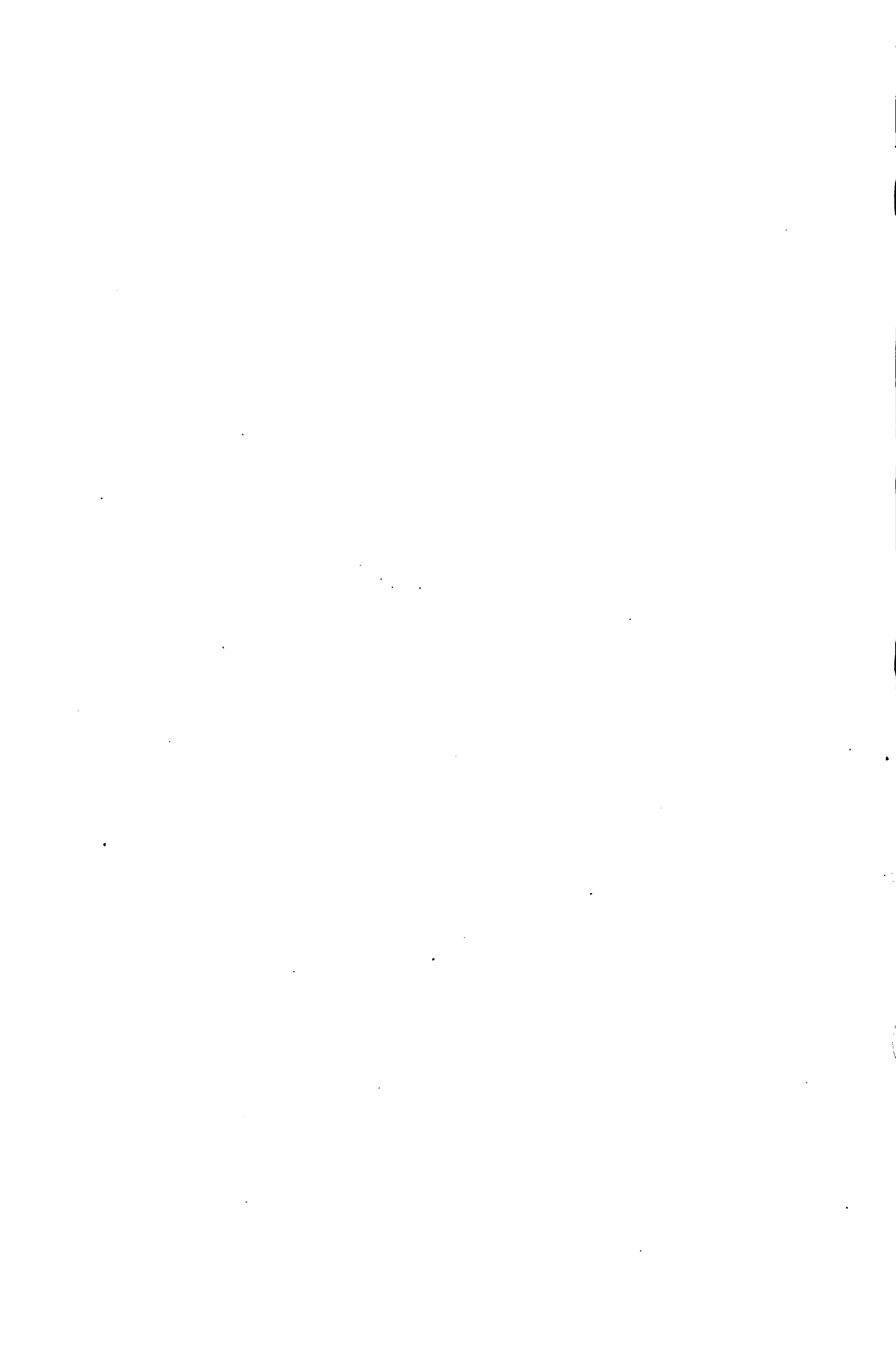
Praktischer als Vorrichtungen für die einzelnen Zuschauer anzubringen wäre es, wenn man die Zeit des Bildwechsels selbst möglichst reduzieren könnte, so daß die Größe des den Bildwechsel abblendenden Sektors möglichst klein wird. Wir wollen annehmen, derselbe habe die Winkelgröße φ. Man könnte dann noch mehrere feste Sektoren von der Größe φ in der Blende anbringen und zwar so, daß sie durch unter sich gleich große leere Sektoren von der Größe δ getrennt sind.

Je mehr aus je einem φ- und δ-Wert bestehende Sektoren die Scheibe dann aufweist, desto eher wird das Flimmern vollständig verschwinden. Andererseits wird aber auch das Flimmern aufgehoben, wenn $\delta—\varphi$ genügend groß, also v genügend klein ist. Die praktische Erfahrung müßte dann lehren, ob es vorteilhafter ist, bei gegebener Größe von φ möglichst viel Perioden oder möglichst kleine v-Werte innerhalb der Perioden zu wählen.

---

[1]) Vgl. STIGLER, Über das Flimmern der Kinematographen; PFLÜGERS Archiv, Bd. 123, S. 224 ff., 1908.






251528
TR890
M3
Marbe



